

Validez del uso de tablets en la valoración neuropsicológica

Jordi Iglesias Molina

Tutor: Valeriana Naranjo Ornedo

Cotutor: Roberto Llorens Rodríguez

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

Curso 2015-2016

Valencia, septiembre 2016

A Roberto y a Valery, que confiaron en mi para este proyecto,
a Adrián y Jorge, quienes siempre echaron una mano,
a mi familia, por darme esta oportunidad,
y sobretodo, y de un modo muy especial, a Mireia,
por estar siempre a mi lado en este trabajo,
y sin la cual no hubiese sido posible.

Resumen

En el presente trabajo se han desarrollado dos aplicaciones, tanto para dispositivos *Android* como ordenadores *Windows*[®], que simulan y digitalizan el test de atención *Conners' Continuous Performance Test II* y el test de memoria visuoespacial *Spatial Span*, y se han comparado sus resultados y efectos con la edad con los test convencionales. Veinticinco sujetos sanos han completado ambas versiones (digital en *tablet* y convencional) de ambos test en orden contrabalanceado. Los resultados obtenidos evidencian el efecto negativo de la edad en el tiempo de reacción en ambos test, así como en el modo inverso del test de memoria visuoespacial, lo cual respalda resultados previos con estos test. Además, muestran correlaciones moderadas y moderadamente altas entre ambas versiones del test de atención y del modo inverso del test de memoria visuoespacial, lo cual es especialmente relevante considerando estudios previos y la fiabilidad test-retest de estas pruebas. Los resultados de este trabajo validan preliminarmente el uso del test de atención y del modo inverso del test de memoria visuoespacial desarrollados, lo cual, unido a su libre distribución, permitiría utilizar estas aplicaciones a centros sin grandes recursos económicos.

Resum

En el present treball s'han desenvolupat dues aplicacions, tant per a dispositius *Android* com ordinadors *Windows*[®], que simulen i digitalitzen el test d'atenció *Conners' Continuous Performance Test II* i el test de memòria visuoespacial *Spatial Span*, i s'han comparat els resultats i efectes amb l'edat amb els tests convencionals. Vint-i-cinc subjectes sans han completat les dues versions (digital en tableta i convencional) d'ambdós test en ordre contrabalançat. Els resultats obtinguts evidencien l'efecte negatiu de l'edat al temps de reacció en els dos test, així com al mode invers del test de memòria visuoespacial, la qual cosa dóna suport a resultats previs amb aquests test. A més, mostren correlacions moderades i moderadament altes entre les dues versions del test d'atenció i del mode invers del test de memòria visuoespacial, les quals són especialment rellevant tenint en compte estudis previs i la fiabilitat test-retest d'aquestes proves. Els resultats d'aquest treball validen preliminarment l'ús del test d'atenció i del mode invers del test de memòria visuoespacial desenvolupats, fet que, unit a la seua lliure distribució, permetria utilitzar aquestes aplicacions a centres sense grans recursos econòmics.

Abstract

We have developed two software applications for both Android devices and Windows® computers, which simulate and digitalize the attention test “Conners' Continuous Performance Test II” and the visuospatial memory test “Spatial Span”, and compared their results and the effects of age with those of the conventional tests. Twenty-five healthy subjects completed both versions (digital version in tablet and conventional version) of both tests in counterbalanced order. The results showed the negative effect of age in reaction time in both tests and in the outcomes of the reverse mode of the visuospatial memory test, which supports previous results. The results also showed moderate to moderately high correlations between the two versions of the attention test and the reverse mode of the visuospatial memory test, which is especially relevant considering previous studies and the test-retest reliability of these tests. This study preliminarily supports the use of the developed attention test and the reverse mode of the visuospatial memory test. These results, together with the free distribution of the tests, could allow clinicians without economic resources to use these tools in their clinical practice.

Contenido

Resumen.....	i
Resum.....	ii
Abstract	iii
Contenido	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras	vii
1. Introducción	1
1.1 Funciones cognitivas básicas	1
1.1.1 Definición.....	1
1.1.2 Atención	1
1.1.2.1 El sistema de atención	1
1.1.2.2 Tipos de atención	4
1.1.3 Memoria	5
1.1.3.1 El sistema de aprendizaje y memoria	5
1.1.3.2 Tipos de memoria	9
1.1.4 Funciones ejecutivas.....	11
1.1.4.1 El sistema ejecutivo	11
1.1.4.2 Tipos de funciones ejecutivas	11
1.2 Daño cerebral adquirido	12
1.2.1 Definición.....	12
1.2.2 Principales etiologías	13
1.2.2.1 Traumatismo craneoencefálico	13
1.2.2.2 Ictus o enfermedad cerebrovascular	13
1.2.3 Implicaciones de un daño cerebral en las funciones cognitivas básicas	14
1.3 Valoración neuropsicológica.....	15
1.3.1 Valoración de la atención	16
1.3.1.1 Conners' Continuous Performance Test II	16
1.3.2 Valoración de la memoria.....	19
1.3.2.1 Spatial Span	19
1.4 Hipótesis y objetivos.....	21
1.4.1 Hipótesis	21
1.4.2 Objetivos.....	21
2. Materiales y métodos.....	22
2.1 Instrumentación	22
2.1.1 Aplicaciones desarrolladas.....	22
2.1.1.1 Test de atención continua (Continuous attention test)	22
2.1.1.2 Test de memoria visuoespacial (Visuospatial memory test)	25
2.1.1.3 Accesibilidad	27
2.1.2 Software utilizado	28
2.1.2.1 Unity	28
2.1.2.2 SPSS Statistics	29
2.2 Procedimiento	29
2.2.1 Participantes.....	29
2.2.2 Procedimiento	29
2.2.3 Análisis de los datos.....	30
3. Resultados	31

3.1.1	Test de atención	31
3.1.2	Test de memoria.....	31
4.	Discusión.....	33
4.1	Test de atención continua (Continuous attention test).....	33
4.2	Test de memoria visuoespacial (Visuospatial memory test).....	33
5.	Conclusiones.....	35
	Bibliografía.....	36

Índice de tablas

Tabla 1. Criterios de clasificación de los tipos de atención.....	4
Tabla 2. Factores determinantes de la repercusión sociosanitaria de las principales causas de daño cerebral.....	13
Tabla 3. Parámetros del Conners' Continuous Performance Test II.....	17
Tabla 4. Variables calculadas por el test de atención continua.	22
Tabla 5. Variables calculadas por el test de memoria visuoespacial.	26
Tabla 6. Variables bajo análisis de cada test. IIE: Intervalo Inter-Estímulo	30
Tabla 7. Correlaciones entre los test de atención tradicional y digital con la edad.....	31
Tabla 8. Correlaciones entre los test de atención.....	31
Tabla 9. Correlaciones entre los test de memoria tradicional y digital con la edad.....	32
Tabla 10. Correlaciones entre los test de memoria	32

Índice de figuras

Figura 1. Componentes del sistema de procesamiento de la información, según el modelo de Moscovitch.	5
Figura 2. Clasificación de la enfermedad cerebrovascular.....	14
Figura 3. Fiabilidad test-retest del Conners' Continuous Performance Test II.....	18
Figura 4. Variación del error estándar con la edad.....	18
Figura 5. Variación de las comisiones con la edad.....	18
Figura 6. Variación de las omisiones con la edad.....	18
Figura 7. Variación del tiempo de reacción con la edad.....	18
Figura 8. Captura del test PEBL Continuous Performance Test.	19
Figura 9. Materiales del Spatial Span.....	19
Figura 10. Fiabilidad test-retest de la Wechsler Memory Scale–Third Edition.	20
Figura 11. Highest span en el Spatial Span en los modos directo e inverso.....	21
Figura 12. Pantalla inicial del test de atención continua.....	23
Figura 13. Introducción de los datos del sujeto en las aplicaciones.	23
Figura 14. Pantalla de explicación de la función para abortar los test.....	24
Figura 15. Instrucciones del test de atención continua.	24
Figura 16. Captura de una ejecución del test de atención continua.....	24
Figura 17. Pantalla (no definitiva) de resultados del test de atención continua.....	25
Figura 18. Explicación de las variables resultado del test de atención continua.	25
Figura 19. Pantalla principal del test de memoria visuoespacial.	26
Figura 20. Captura de una ejecución del test de memoria visuoespacial.	26
Figura 21. Captura de la animación de la mano describiendo una secuencia en el test de memoria visuoespacial.	27
Figura 22. Ejemplo de resultados obtenidos en el modo directo del test de memoria visuoespacial.....	27

1. Introducción

1.1 Funciones cognitivas básicas

1.1.1 Definición

Se entienden por funciones cognitivas los procesos mentales, conscientes o inconscientes, involucrados en la adquisición de información y en su procesamiento, el cual se realiza en base a conocimientos previamente adquiridos, con el fin de llevar a cabo cualquier tarea. Las funciones cognitivas comprenden todas las habilidades del cerebro humano relacionadas con la información que adquirimos del medio ambiente, el cual tiene un papel activo en los procesos de recepción, selección, transformación, almacenamiento, elaboración y recuperación de dicha información, permitiendo desenvolvernos en el mundo que nos rodea.

En los siguientes apartados, se describen con mayor profundidad aquellas funciones cognitivas básicas más relevantes para el presente trabajo.

1.1.2 Atención

1.1.2.1 El sistema de atención

La atención se define como “la selección de información para el procesamiento y la acción conscientes, así como el mantenimiento del estado de alerta requerido para el procesamiento” [1]. Posner señala tres hipótesis que fundamentan lo que hasta ahora conocemos sobre la atención [1,2]:

- a) Existe un sistema atencional anatómicamente diferenciado de los sistemas de procesamiento de la información. Es decir, la atención en sí misma no procesa información, sólo se limita a posibilitar o a inhibir ese procesamiento.
- b) La atención está sustentada por redes de áreas anatómicas (ni está localizada en un área única del cerebro ni es una propiedad colectiva del cerebro en sí mismo).
- c) las áreas cerebrales implicadas en la atención no tienen la misma función, sino que funciones diferentes están sustentadas por áreas diferentes.

Por otro lado, Posner considera que es importante diferenciar dos tipos de sustratos anatómicos relacionados con la atención [2]: los que constituyen la fuente de la atención, es decir, las áreas anatómicas que son específicas de la atención (no participan de modo primario en el procesamiento de la información) y los que constituyen el foco al que la atención es asignada en cada momento. El sistema de atención tiene así dos funciones principales: mantener el estado de alerta del sistema cognitivo y seleccionar la información relevante en cada momento, a fin de que dicho sistema, que tiene una capacidad limitada, no se vea desbordado. Esta selección parece estar determinada a la vez por eventos del entorno y por las metas coordinadas del sistema cognitivo.

Por su parte, el modelo de Moscovitch diferencia dos componentes en el sistema de atención: un sistema central que se ocupa de asignar voluntariamente atención y recursos sin restricciones de dominio y que estaría regido por la región prefrontal del cerebro, y un segundo componente, de carácter modular y relacionado con la región parietal del cerebro, implicado en la asignación automática de atención.

El nivel de alerta

La norepinefrina, un neurotransmisor que se sintetiza en el tronco cerebral, es el encargado de mantener el nivel de alerta. En esta tarea contribuyen, además, los estímulos externos y los estímulos internos (el hambre, el dolor, el frío, etc.). La función principal del sistema de alerta es la de aumentar la disposición para recibir información y la rapidez del procesamiento. Se considera que, dentro de los límites de cada individuo, la cantidad de recursos de procesamiento disponibles en el sistema cognitivo en cada momento depende de su nivel de alerta en ese momento. En condiciones normales, el nivel de alerta puede ser modulado voluntariamente, al menos hasta cierto punto.

La orientación hacia los estímulos ambientales

En la función de orientación hacia los estímulos ambientales participan dos tipos de orientación: la orientación manifiesta y la orientación encubierta. La primera consiste en mover los ojos, la cabeza o el cuerpo hacia los eventos de interés, a fin de optimizar su procesamiento y la segunda, en una serie de ajustes neuronales internos para poder llevar a cabo dicho procesamiento.

La atención está íntimamente ligada al sistema perceptivo. Se considera que la primera etapa del procesamiento perceptivo corre a cargo de mecanismos independientes, cada uno de los cuales, procesa en paralelo una sola característica física básica del estímulo (por ejemplo, el color, la forma, el tamaño, etc.). En una segunda etapa, la salida de estos procesadores se integraría en una única descripción estructural de un objeto en un procesador especializado, con la que trabajaría el sistema atencional visual, encargado de seleccionar, entre toda la información procesada en paralelo, la que ha de ser sometida a niveles superiores de procesamiento [3]. La función de orientación hacia los estímulos ambientales se complementa con la función de selección de información ambiental relevante.

En ocasiones, se ha considerado que la selección de la información relevante consiste únicamente en facilitar y potenciar su procesamiento. Sin embargo, el efecto de *priming* negativo [4], consistente en que la respuesta a un elemento resulta interferida por la presentación previa de ese mismo elemento o de un elemento relacionado con él, indica que la selección de información sólo es posible si paralelamente a dicha facilitación se le añade una inhibición del procesamiento de la información irrelevante. En este proceso intervienen dos mecanismos principales [5]. El primero de ellos es la inhibición lateral, mediante la cual una unidad neuronal reduce la actividad existente en unidades próximas, dependiendo del nivel de activación [6]. El segundo es la inhibición de retorno, un efecto que se observa en las tareas de detección de estímulos con y sin clave previa, cuando el intervalo entre la aparición de la clave y la aparición del estímulo es igual o superior a 300 ms, por el cual el tiempo de detección de los estímulos precedidos de clave es superior al de los no precedidos de clave [7]. Esto ha sido calificado como un mecanismo del sistema para evitar atender a estímulos a los que se ha atendido previamente, por lo que desempeñaría un papel importante en la función de evitar los errores de perseveración [5]. Ambos mecanismos permiten la inhibición tanto de la información irrelevante en un instante como la relevante en un momento previo, pero que ha dejado de serlo.

Todos estos mecanismos de selección e inhibición indican que el papel de la atención consiste tanto en proporcionar a los sistemas centrales la información como en protegerles de la información irrelevante [5].

La red neuronal ejecutiva

La limitación de la capacidad del sistema cognitivo se ha intentado justificar mediante dos hipótesis fundamentales: las basadas en el concepto de cuello de botella y las basadas en el concepto de reserva limitada de recursos de procesamiento.

Pertencientes a la primera hipótesis, cabe destacar algunas características del sistema cognitivo humano. Primero, no es posible llevar a cabo a la vez dos tareas mentales si ambas requieren la participación del mismo “procesador” en el mismo momento. Segundo, no es posible llevar a cabo a la vez dos tareas mentales cuando ambas requieren procesamientos que se inhiben mutuamente. Finalmente, si se llevaran a cabo dos tareas a la vez, se produciría un cruce entre los procesamientos requeridos por cada una de ellas. Todas estas características implican que el procesamiento humano sólo puede ser secuencial.

Pertencientes a la segunda hipótesis se encuentran aquellas explicaciones basadas en el supuesto de que el sistema cognitivo dispone de una o más reservas de recursos limitadas. Cada una de esas reservas se puede distribuir entre dos o más tareas, pero, en este caso, a cada tarea se le asignarán menos recursos que si se ejecuta cada una por separado. Estas explicaciones admiten un procesamiento en paralelo. Mientras no se desborde el límite de los recursos disponibles, no habría problema. En caso contrario, la ejecución de las tareas será más lenta.

En las operaciones requeridas para la percepción de los estímulos, la interferencia es mayor cuando ambos estímulos se presentan en la misma modalidad sensorial. Algo similar ocurre con la respuesta: la interferencia es más fuerte cuando ambas respuestas son verbales o no verbales que cuando una es verbal y la otra no.

En cuanto a las operaciones centrales, los datos revelan que, salvo muy contadas excepciones referentes a tareas inusualmente sencillas, no se pueden llevar a cabo dos procesamientos a la vez. Lo que en realidad ocurre es que se pueden llevar a cabo dos planes a la vez, alternando las etapas de uno con las del otro, de manera similar a cuando cocinamos dos platos a la vez. Para ello es preciso mantener ambos planes activos en la memoria a corto plazo hasta haber logrado sus respectivas metas, ejecutar una etapa de uno de ellos, mantener activos sus resultados en la memoria a corto plazo mientras se ejecuta una etapa del otro y así sucesivamente. Se trata de un procedimiento de “almacenamiento y cambio” [8]. En su conjunto, estos datos parecen indicar que el sistema cognitivo humano dispone de un fondo general de recursos que abastece a los sistemas centrales y de fondos de recursos específicos de cada modalidad, que abastecen las operaciones correspondientes a la entrada perceptual y a la salida motora.

La función selectiva de la atención, cuyo objetivo es impedir que un sistema cognitivo dotado de unos recursos limitados de procesamiento se vea desbordado, está guiada por prioridades que se asignan a la información en vistas al procesamiento y a la acción conscientes. Tanto la asignación de atención a las demandas estimulares como la asignación de atención a la información internamente representada, requerida para las metas del sistema, pueden ser automáticas o voluntarias. Sin embargo, la selección de la información más relevante para las metas del sistema cognitivo y, con ello, la conducta coherente, requiere que la selección automática de un tipo y otro de información esté modulada por un sistema de control voluntario.

En resumen, el sistema cognitivo dispone de una cantidad limitada de recursos de procesamiento consciente, lo que le obliga a protegerse de la información y procesos irrelevantes y a distribuir óptimamente los recursos disponibles entre la información y los

procesos relevantes. Para lograrlo, dispone de un sistema de control atencional que determina las prioridades que se han de asignar a la información externa e interna y evalúa las necesidades de cada operación que está activa en cada momento. La atención selectiva consiste precisamente en la potenciación de la información relevante y en la inhibición de la información irrelevante, siempre en función de las prioridades establecidas por el sistema cognitivo.

1.1.2.2 Tipos de atención

En función de lo que se ha descrito en el apartado anterior, en su conjunto, el sistema atencional se encargaría de diversas funciones que definen distintos tipos de atención:

- a) Mantener el estado de alerta necesario en cada momento.
- b) Detectar los cambios estímulares poco frecuentes (vigilancia).
- c) Seleccionar la información relevante (atención selectiva) e inhibir la información irrelevante (resistencia a la distracción).
- d) Mantener dicha función selectiva durante la ejecución de una actividad o tarea de cierta duración (atención sostenida).
- e) Evaluar el estado del sistema en cada momento, incluyendo las necesidades de recursos que han de permanecer activadas.
- f) Distribuir óptimamente los recursos entre las diferentes representaciones y operaciones que están activadas (atención distribuida).

Los tipos de atención pueden, a su vez, clasificarse según numerosos criterios (Tabla 1).

Criterios de clasificación	Clasificación
Mecanismos implicados	Selectiva, dividida, sostenida
Grado de control voluntario	Involuntaria, voluntaria
Objeto al que va dirigido la atención	Externa, interna
Modalidad sensorial implicada	Visual, auditiva
Amplitud e intensidad.	Global, selectiva
Amplitud y control que se ejerce	Concentrada, dispersa

Tabla 1. Criterios de clasificación de los tipos de atención.

A continuación, se detallan los dos primeros tipos de clasificación por ser los que más relación guardan con el objetivo de este trabajo.

Mecanismos Implicados

- a) Atención selectiva: es la habilidad de una persona para responder a los aspectos esenciales de una tarea o situación y pasar por alto o abstenerse de hacer caso a aquéllas que son irrelevantes [9].
- b) Atención dividida: es la habilidad de distribuir, ante una sobrecarga estimular, los recursos atencionales con los que cuenta el sujeto hacia una actividad compleja [10].
- c) Atención sostenida: es la habilidad de mantenerse concentrado en una tarea y poder ocuparse de ella por un periodo de tiempo prolongado [9].

Grado de control

- a) Atención involuntaria: la atención involuntaria está relacionada con la aparición de un estímulo nuevo, fuerte y significativo, y desaparece casi inmediatamente con la repetición o monotonía. Tiende a ser pasiva y emocional, pues la persona no se esfuerza ni orienta su actividad hacia el objeto o situación, ni tampoco está relacionada con sus necesidades, intereses y motivos inmediatos.

- b) Atención voluntaria: la atención voluntaria se desarrolla en la niñez con la adquisición del lenguaje y las exigencias escolares. En una primera instancia es el lenguaje de los padres el que controla la atención del niño aún involuntaria. Una vez que el niño adquiere la capacidad de señalar objetos, nombrarlos y puede interiorizar su lenguaje, es capaz de trasladar su atención de manera voluntaria e independiente de los adultos. Esto confirma que la atención voluntaria se desarrolla a partir de la atención involuntaria, y con la actividad propia del hombre se pasa de una a otra constantemente [11,12].

1.1.3 Memoria

1.1.3.1 El sistema de aprendizaje y memoria

Dentro de su modelo de funcionamiento general del sistema cognitivo, Moscovitch desarrolla especialmente el sistema de aprendizaje y memoria. Según este autor, éste está constituido por cuatro subsistemas independientes, cuyas operaciones interactúan mutuamente [13] (Figura 1). El primer componente está constituido por los módulos perceptivos (de tipo I y de tipo II) y por unos sistemas interpretativos denominados módulos semánticos. Estos componentes tendrían su base neuronal en las estructuras neocorticales no frontales (neocorteza lateral media y posterior) y mediarían la ejecución en los test de memoria implícita. Un segundo componente, también modular, es el sistema de memoria procedimental, que está constituido por una especie de almacén de rutinas que pueden ser adquiridas consciente o preconscientemente, pero que no necesitan la conciencia para ser utilizadas. Un tercer componente, también modular, mediaría la codificación, el almacenamiento y la recuperación de la información que ha alcanzado la conciencia. Interviene en los test explícitos de memoria episódica y tiene su base anatómica principal en el complejo del hipocampo. Por último, un sistema central, frontal (procesador central y sistema de control), que “trabaja con la memoria” aplicando un procesamiento estratégico y basado en reglas a la información que accede a la conciencia.

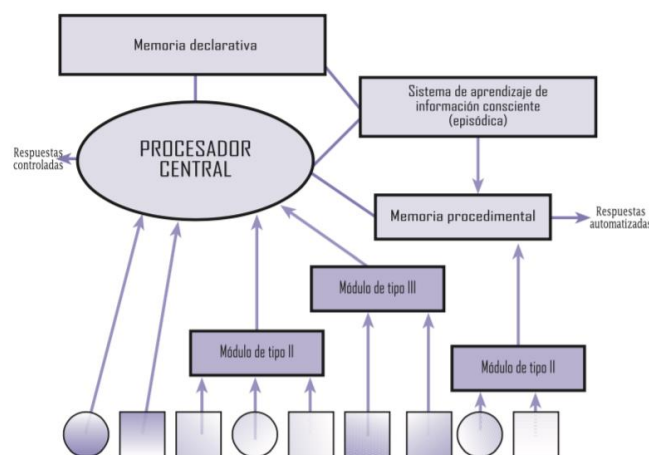


Figura 1. Componentes del sistema de procesamiento de la información, según el modelo de Moscovitch.

La memoria comienza a intervenir cuando un evento del entorno es captado por los módulos perceptivos correspondientes. Éstos lo registran, lo descodifican y clasifican esa información en un nivel perceptivo presemántico, enviando el resultado a los módulos semánticos. Los módulos

perceptivos y los módulos semánticos transmiten su salida a la memoria de trabajo, donde la información recibe atención consciente, por lo que puede ser intencionalmente aprendida y conscientemente recuperada. Pero también pueden transmitir su salida directamente al sistema de memoria procedimental.

Una característica importante de este modelo es que cada vez que uno de estos módulos procesa una información nueva, el circuito neuronal correspondiente crea un registro perceptivo o semántico de esa actividad de procesamiento. El registro perceptivo contendría información estructural presemántica, específica del dominio, acerca del evento estimulante. El registro semántico contendría información básica y preconceptual acerca del significado de dicho evento. Se denomina engrama al contenido informacional de un registro. La creación de registros es automática, no requiere la participación de la atención. Esto implica que, si bien los registros no tienen acceso a la conciencia, el hecho de que contengan información acerca de los eventos estimulantes tiene consecuencias en el procesamiento: éste se ve facilitado cuando ha de procesar un estímulo relacionado con un registro que ya posee. Esta facilitación será aún mayor si ese registro ha sido recientemente reactivado. El denominado efecto de “facilitación por repetición” estaría basado en esta reactivación de los registros perceptivos o semánticos. La información que llega a memoria de trabajo (es decir, que se hace consciente) puede ser interpretada inmediatamente y con poco esfuerzo (y, si es interpretada, puede guiar el pensamiento y la acción consciente y voluntariamente) o puede no serlo, dependiendo del tipo de procesos de control que inciden en ella. La información consciente que ha sido semánticamente interpretada, y sólo ella, es captada inmediatamente por el sistema del hipocampo.

El complejo sistema del hipocampo funciona como un módulo cuyo dominio específico es la información consciente que ha sido semánticamente interpretada. Una vez que la información ha sido captada por el sistema del hipocampo, tiene lugar el proceso denominado cohesión. Dicho proceso consiste en que, para cada evento, el hipocampo empaqueta en una huella de memoria bien cohesionada los elementos neuronales de la neocorteza, que dieron lugar a la experiencia consciente. Dicha huella estaría inmersa en un contexto espacial que le proporciona el hipocampo. Junto a la huella de memoria resultante, se crea un código neuronal que le es propio, y que sirve a modo de ficha de identificación de esa huella [14–16]. Una huella de memoria es, pues, un paquete que contiene la conciencia correspondiente a una colección de engramas ligados entre sí. Para que la ficha de identificación sea eficaz, ha de estar bien especificada. Este proceso de cohesión, que es automático y rápido (requiere del orden de segundos a minutos), ha de completarse con otro proceso más lento, denominado consolidación, que es el responsable de lograr que la huella de memoria se haga permanente. Si el proceso de consolidación resulta interrumpido cuando está en marcha, se podría producir una pérdida de información. Si, por otro lado, el proceso de consolidación se ha completado, el acceso a las huellas de memoria tiene lugar por una vía externa al hipocampo [14,16,17]. El

hipocampo sería así una especie de memoria temporal, que se utilizaría únicamente hasta que se completa el proceso de consolidación, en virtud del cual la información se haría permanente en alguna otra estructura cerebral. Esto explicaría por qué cuando el complejo del hipocampo está dañado, la información reciente (no consolidada) es la que resulta afectada.

Para recordar un evento se debe reactivar la correspondiente huella de memoria. La huella de memoria se reactiva cuando una clave, externamente presentada o internamente generada, entra en memoria de trabajo haciéndose consciente. En ese momento, es automáticamente captada por el sistema del hipocampo, donde activa la ficha de identificación correspondiente, entrando así en interacción con la huella de memoria. Alternativamente, si la huella de memoria está ya consolidada, la clave contacta directamente con ella. El proceso asociativo por el cual la clave entra en interacción con la huella de memoria se denomina euforia. La información resultante de esa interacción entra inmediatamente en memoria de trabajo (es decir, se hace consciente). Allí es sometida a una serie de procesos encaminados a situarla en el contexto histórico correspondiente, constituyendo así una recordación episódica. El sistema del hipocampo no tiene la "inteligencia" necesaria para el autocontrol, la autorregulación, ni la intervención estratégica. La información que sale del hipocampo no tiene más contexto que el asociativo. El sistema encargado de situar el evento en su contexto organizacional o histórico es el procesador central [18]. El procesador central interviene en el sistema de memoria en tres momentos. Primero, cuando la información procedente de los módulos de entrada llega a memoria de trabajo (es decir, se hace consciente), interviene para coordinar, interpretar y elaborar esa información de forma que resulte apta para ser captada por el sistema de memoria asociativa del hipocampo. Segundo, cuando aparece en la conciencia una meta (digamos una pregunta) y la clave asociativa resulta inadecuada, el procesador central lleva a cabo, mediante un proceso similar a los procesos de resolución de problemas, la búsqueda de la clave más adecuada para detectar y activar la huella de memoria correspondiente (recuperación estratégica). Y finalmente, cuando la información procedente del hipocampo (recuperada por esa clave) llega a memoria de trabajo, el procesador central la comprueba para ver si es la deseada y si es verídica, y la sitúa en su contexto histórico adecuado.

Un aspecto importante es que la mera repetición de la información no conduce a su utilización eficiente. La repetición de la información sólo conduce a mantenerla en el correspondiente sistema subsidiario de memoria de trabajo [8]. Mientras la información no sea conscientemente tratada, no podrá acceder al sistema del hipocampo. De acuerdo con la teoría de los niveles de procesamiento [19], la información puede ser codificada en diferentes niveles, según esa codificación se base en sus características físicas (nivel superficial) o en sus características semánticas (nivel profundo). Cuanto más profundamente se procesa una información, más sólidas serán las huellas de memoria y más fácil será reactivarlas. Además, la calidad de la huella depende de la cantidad de tratamiento a que ha sido sometida. Por

ejemplo, la codificación semántica puede ser sólo verbal o puede acompañarse de imágenes visuales.

Por otro lado, Nadel y Moscovitch [20] reformulan así el proceso de consolidación de su modelo: las huellas de memoria creadas a la llegada de información nueva son codificadas por un conjunto distribuido de neuronas del complejo del hipocampo. Cada reactivación de una huella de memoria tendría lugar en un contexto experiencial y neuronal diferente de los precedentes. Como el complejo del hipocampo codifica obligatoriamente toda la información que ha sido atendida, cada reactivación de una huella de memoria daría lugar a la codificación de una nueva huella hipocámpica por un conjunto distribuido de neuronas. Las sucesivas huellas de memoria de diversas rememoraciones de un mismo episodio original comparten toda o parte de la información de éste. La información episódica se beneficiaría de la creación de huellas múltiples de memoria, las cuales son más numerosas a medida que la información es más antigua. Esto explica por qué la información episódica más antigua es más resistente que la más reciente y por qué se recuerda más fácilmente.

El daño (incluso mínimo) en cualquier región del complejo del hipocampo afecta a la adquisición, la retención y la recuperación de la información episódica. El entrenamiento de estrategias compensatorias (en ocasiones mal denominado “rehabilitación”) está basado en el uso del sistema de memoria procedimental para la adquisición de rutinas sensomotoras, adquisición que no necesita hacer uso del complejo hipocámpico, afectado en estos pacientes desde el principio de su enfermedad.

Basándose en este modelo, Moscovitch [14] clasifica los test de memoria en dos tipos, cada uno de los cuales se puede subdividir en otros dos. Tenemos así los test de memoria explícita y los test de memoria implícita. Los primeros incluyen los test de memoria asociativa y los test de memoria estratégica. Dentro de los test de memoria implícita, tenemos los test de memoria específica del elemento y los test de memoria procedimental. El autor nos recuerda que, sin embargo, no existe ningún test “puro”, es decir, que participe de un solo tipo. Por ello, los experimentos realmente fiables sobre este tema son los que se hacen con pacientes que tienen claramente dañado un tipo de memoria o el otro, asegurándonos así que, en su ejecución de la tarea, sólo participa uno de ellos [21].

Los test de memoria explícita requieren rememoración consciente de los eventos del pasado. En esta rememoración participan dos componentes: un componente asociativo, sustentado por el complejo hipocámpico, y un componente estratégico, sustentado por estructuras de la corteza prefrontal. Ante una pregunta o meta pueden ocurrir dos cosas. Una primera posibilidad es que la información contenida en la pregunta se superpone lo suficiente con la información contenida en la huella, como para servir ella misma de clave (por ejemplo, “¿Has ido esta semana al cine?”). En este caso, el componente asociativo se activa y recupera de manera obligatoria y casi automática la información correspondiente a esa clave: lo

recordado irrumpe en la mente y capta nuestra atención. Otra posibilidad es que, en caso contrario, es preciso que el componente estratégico elabore la información en la conciencia (o memoria de trabajo) para proporcionar al componente asociativo las claves adecuadas para esa recuperación. Es decir, en los test de memoria estratégica la meta (por ejemplo, “¿De qué trata el libro del El Quijote?”) constituye únicamente el desencadenante de un proceso de búsqueda de la clave necesaria para obtener la respuesta; este proceso consiste en seleccionar y aplicar una estrategia y reúne las características propias de un proceso de resolución de problemas. Los procesos estratégicos pueden estar directamente encaminados a generar la clave que permita recuperar la información deseada, o bien pueden generar claves intermedias encaminadas a recuperar información que, a su vez, permita elaborar la clave necesaria para recuperar la información deseada. En este sentido, los procesos de recuperación de información episódica pueden apoyarse en información semántica y viceversa. Además, una vez recuperada la información, el componente estratégico la sitúa en su contexto temporal [18].

En la memoria asociativa el proceso completo de rememoración está automatizado y es modular, de forma que sólo las salidas son enviadas a memoria de trabajo. En el caso de la memoria estratégica, el procesador central está extensamente implicado en todas las etapas, de forma que el sujeto no es sólo consciente de lo recordado sino además de las estrategias y del conocimiento utilizados para generar la clave que permite traer ese evento a la mente. Se denominan test de memoria asociativa los que apelan al primer componente y test de memoria estratégica los que apelan al segundo. En cuanto a los test de memoria implícita específicos del elemento están basados en la reactivación de los registros perceptivos y semánticos, formados por la actividad de procesamiento de los módulos de entrada perceptivos y semánticos, respectivamente. Aunque esta información no tiene acceso a la conciencia, puede operar desde esos registros. Así, aunque el sujeto no sea consciente de poseer esa información ni de estar utilizándola, sus respuestas son más rápidas y más exactas cuando las tareas apelan a información a la que acaba de ser expuesto (y, por lo tanto, se han reactivado sus registros) que cuando apelan a información a la que no ha estado expuesto recientemente. Es el denominado efecto de “facilitación por repetición”, que se refiere al fenómeno en virtud del cual los estímulos son procesados más exacta o más rápidamente cuando se repiten que cuando se presentan por primera vez. Los test de memoria procedimental, por su parte, están basados en información referente a procedimientos, reglas o habilidades sensoriomotoras, almacenadas en el componente de memoria procedimental, que el sujeto puede utilizar sin que accedan a la conciencia [14,15].

1.1.3.2 Tipos de memoria

Desde hace un par de décadas hay un acuerdo generalizado acerca de que “la memoria no es una unidad monolítica, unitaria, y lo que denominamos memoria representa un número de sistemas diferenciados que interactúan” [22]. Esta idea se debe a que la clínica neuropsicológica ha demostrado que las lesiones cerebrales pueden disociar los procesos de aprendizaje y de

recuperación de la información de los contenidos de información. Tulving [23] acepta la existencia de cinco sistemas de memoria: la memoria procedimental, los sistemas de representación perceptual, la memoria semántica, la memoria primaria y la memoria episódica. El primero de esos sistemas es un sistema de acción conductual o cognitiva. Los otros cuatro son sistemas de representación cognitiva. Cada uno de estos cinco sistemas puede incluir una serie de subsistemas. Además, el acceso a los contenidos de la memoria se puede disociar en acceso implícito o no consciente y acceso explícito o consciente [24].

- a) La memoria procedimental está implicada en la adquisición y la utilización de esquemas cognitivos y motores. Los esquemas cognitivos son indispensables para las funciones de pensamiento. Los esquemas motores son indispensables para comunicarnos con el entorno. En otros términos, la memoria procedimental nos permite hacer y pensar, pero no nos permite acordarnos de lo que hacemos o pensamos [25]. Se puede acceder implícitamente a esa información. Los otros cuatro sistemas de memoria nos proporcionan la información sobre la que opera el pensamiento.
- b) Los sistemas de representación perceptual, ampliamente descritos por Schacter [26], vendrían a corresponder a los módulos de tipo II del modelo de Moscovitch. Contienen información acerca de la descripción estructural de los objetos y de la forma auditiva o escrita de las palabras. Son, además, los responsables del efecto de facilitación o *priming* perceptual, lo que implica que se puede acceder implícitamente a esa información.
- c) La memoria semántica es “la memoria necesaria para el uso del lenguaje. Es una enciclopedia, o conocimiento mental organizado, que posee una persona acerca de las palabras y otros símbolos verbales, de su significado y sus referentes, de las relaciones entre ellos y de las reglas, fórmulas y algoritmos para la manipulación de los símbolos, los conceptos y las relaciones” [27].
- d) La memoria primaria, también denominada memoria a corto plazo, “registra y retiene información entrante (visual y auditiva) en un formato altamente accesible, durante un corto período de tiempo tras su entrada” [23]. Incluye los dos sistemas subsidiarios del modelo de Baddeley, que mantienen la información en estado activo mientras es tratada en memoria de trabajo. Al formar parte del sistema de memoria de trabajo, sólo se accedería explícitamente a la información contenida en ellos.
- e) La memoria episódica nos permite recordar nuestras experiencias pasadas dentro del contexto espaciotemporal de otros eventos de nuestra historia personal. También se accedería a ella sólo explícitamente. El sistema semántico hace posible la adquisición y retención de conocimientos generales sobre el mundo. No tiene contexto espaciotemporal. Nos proporciona el material necesario para el pensamiento. De acuerdo con Tulving [23], también esta información se puede recuperar implícitamente.

Los datos neuropsicológicos han puesto de manifiesto que cada uno de estos cinco sistemas de memoria puede resultar selectivamente afectado en un paciente, como resultado del daño cerebral.

1.1.4 Funciones ejecutivas

1.1.4.1 El sistema ejecutivo

El término funciones ejecutivas fue acuñado por Muriel D. Lezak en 1983 para referirse a las capacidades que se ponen en marcha al formular metas y objetivos, en la organización y planificación necesaria para lograrlos, y al llevar a cabo una serie de comportamientos ajustados y eficaces para conseguirlos [28].

Diversos modelos teóricos se han planteado para intentar integrar los múltiples procesos que parecen estar incluidos en este amplio término, que ha llegado incluso a etiquetarse como “paraguas conceptual”. Inhibición, capacidad de inicio, control atencional, memoria de trabajo, solución de problemas, planificación, toma de decisiones, flexibilidad mental, atención ejecutiva, multitarea, monitorización de la conducta, etc. son sólo unos cuantos de los que tradicionalmente se agrupan bajo el concepto de funciones ejecutivas. Al fin y al cabo, todos ellos tienen que funcionar adecuadamente para tener un comportamiento autorregulado, para adaptarse a los cambios y las demandas del entorno o para manejar múltiple información y realizar varias cosas a la vez.

Todos estos procesos son complejos y van madurando tarde en el desarrollo del niño. De hecho, siguen madurando como mínimo hasta los 16 años, y es posible que lo sigan haciendo en la edad adulta, considerando nuestra capacidad de aprendizaje y de plasticidad cerebral. Las funciones ejecutivas dependen de múltiples estructuras en el cerebro, aunque se las ha relacionado de forma más intensa con los lóbulos frontales, o más bien su parte más anterior, las áreas prefrontales cerebrales. Otras áreas importantes que participan en las funciones ejecutivas son los ganglios basales, el cerebelo o incluso la amígdala.

Los procesos ejecutivos son delicados y se ven afectados con mucha frecuencia por una variedad de enfermedades y patologías entre las que destacamos los tumores cerebrales, los traumatismos craneoencefálicos, los ictus, la esclerosis múltiple, la esquizofrenia, la enfermedad de Parkinson, el autismo o el trastorno por déficit de atención con hiperactividad.

1.1.4.2 Tipos de funciones ejecutivas

A continuación, se describen brevemente los distintos tipos de funciones ejecutivas más comúnmente establecidos.

- a) Memoria de trabajo: sistema que permite el mantenimiento, manipulación y transformación de información en la mente.
- b) Planificación: capacidad de generar objetivos, desarrollar planes de acción para conseguirlos (secuencias de pasos) y elegir el más adecuado en base a la anticipación de consecuencias.
- c) Razonamiento: capacidad de comparar resultados, elaborar inferencias y establecer relaciones abstractas.
- d) Flexibilidad: capacidad de generar nuevas estrategias para adaptar de la conducta a los cambios de demanda del ambiente.
- e) Inhibición: capacidad de ignorar los impulsos o la información irrelevante tanto interna como externa cuando estamos realizando una tarea.
- f) Toma de decisiones: capacidad de decidir una manera de actuación tras sopesar los distintos tipos de opciones posibles y sus posibles resultados y consecuencias.

- g) Estimación temporal: capacidad de calcular de manera aproximada el paso del tiempo y la duración de una actividad o suceso.
- h) Ejecución dual: capacidad de realizar dos tareas al mismo tiempo (por lo que deben ser de diferente tipo), prestando atención a ambas de manera constante.
- i) *Branching* (multitarea): capacidad de organizar y realizar óptimamente tareas de manera simultánea, intercalándolas y sabiendo en qué punto están cada una en todo momento.

1.2 Daño cerebral adquirido

1.2.1 Definición

El daño cerebral adquirido (DCA) es la lesión de cualquier origen que ocurre de forma aguda en el encéfalo, causando en el individuo un deterioro neurológico permanente respecto a la situación previa, lo que condiciona un menoscabo de su capacidad funcional y de su calidad de vida. El DCA puede deberse a múltiples causas, por lo que no podemos encontrar una etiología concreta. Tampoco se puede definir por medio de un conjunto de síntomas ya que estos varían dependiendo de la gravedad de daño cerebral. Podemos diferenciar las diferentes causas según dependan de agentes externos o internos.

Algunas lesiones provocadas por agentes externos son:

- Traumatismo craneoencefálico
- Encefalopatía por tóxicos (fármacos, drogas de abuso o sustancias químicas)
- Encefalopatía por agentes físicos (radiación ionizante, electrocución, hipertermia, hipotermia)
- Enfermedades infecciosas (encefalitis herpética)

Algunas lesiones provocadas por agentes internos del cuerpo humano.

- Ictus isquémico o hemorrágico
- Encefalopatía anóxica (parada cardiorrespiratoria y otras)
- Neoplasias primarias o secundarias
- Enfermedades inflamatorias autoinmunes
- Enfermedades del tejido conectivo (como el lupus eritematoso sistémico, la enfermedad de Behçet, la vasculitis sistémica o aislada del SNC, etc.)
- Enfermedad desmielinizante (como la esclerosis múltiple (brote agudo grave) o la encefalomiелitis aguda diseminada)

La importancia global de cada una de estas causas viene determinada por su repercusión sociosanitaria. Para estimarla, debemos considerar principalmente tres factores epidemiológicos. En primer lugar, su frecuencia global, tanto su incidencia (tasa de casos nuevos por año) como su prevalencia (tasa de casos totales acumulados en un momento dado); en segundo lugar, el perfil de la población afectada (edad, situación laboral, etc.); y finalmente, la gravedad de las deficiencias secundarias a la lesión. La repercusión sociosanitaria de cada una de las causas de DCA será mayor cuanto mayor sea su frecuencia, más joven la población afectada y más graves las deficiencias. De acuerdo a estos factores se puede definir un orden de importancia de las principales etiologías del DCA (Tabla 2).

Etiología	Traumatismo craneoencefálico	Ictus	Encefalopatía anóxica	Encefalitis herpética	Neoplasia
Incidencia (nº/100000/año)	Alta, 200	Alta, 190	Media-baja, 20-30	Baja, 0.4	Baja, 5
Discapacidad moderada-grave en supervivientes (%)	21	44	>50	>50	>50
Perfil del afectado	Activo < 30 años	Pasivo > 65 años	> 50 años	Cualquier edad	Cualquier edad
Repercusión sociosanitaria	Alta	Alta	Media	Baja	Baja

Tabla 2. Factores determinantes de la repercusión sociosanitaria de las principales causas de daño cerebral.

En resumen, los traumatismos craneoencefálicos (TCE) y los ictus son las dos causas más importantes de DCA, seguidos de la encefalopatía anóxica, siendo el resto de causas menos frecuentes, aunque puedan tener graves consecuencias para la salud y el funcionamiento del individuo. Debido a esto se analizarán los conceptos elementales y la epidemiología de las tres principales causas de DCA, antes mencionadas.

1.2.2 Principales etiologías

1.2.2.1 Traumatismo craneoencefálico

El TCE es la consecuencia de una fuerza externa ejercida sobre el cráneo, bien por contacto directo o por inercia. Las fuerzas por contacto suelen provocar una lesión focal (fractura, contusión, hemorragia subdural o epidural), mientras que las fuerzas inerciales causan lesiones por mecanismos de aceleración-desaceleración, que pueden dar lugar a lesiones focales (por contragolpe) o difusas (daño axonal difuso).

Los mecanismos de producción de la lesión encefálica en el TCE son variados. Se distingue entre daño cerebral primario y secundario. El daño primario es el que está directamente relacionado con el mecanismo y la energía desarrollada en el traumatismo, su sustrato anatomopatológico es la lesión celular, el desgarramiento y retracción de los axones y las alteraciones vasculares. Podemos dividir el daño cerebral primario a su vez en dos tipos: la lesión focal o contusión cerebral, y la lesión difusa. Esta puede tener dos formas, que a menudo coexisten: el daño axonal difuso y el edema cerebral. En cuanto al daño cerebral secundario, este puede producirse como consecuencia del efecto de lesiones externas al parénquima cerebral, como las hemorragias subdurales y epidurales, o bien a causa de las complicaciones sistémicas que pueden ocurrir en el TCE, como la hipotensión arterial, la hipoxemia, la hipertermia o las crisis comiciales.

Los accidentes de tráfico representan la causa más importante de TCE, con alrededor del 73% de los casos, seguido por las caídas (20%) y lesiones deportivas (5%), existiendo diferencias según el grupo de edad y sexo. Así, los atropellos y las caídas son más frecuentes en niños y adultos mayores de 65 años, mientras que los accidentes de motocicleta se centran en el grupo de jóvenes menores de 25 años y los de automóvil en el de adultos.

1.2.2.2 Ictus o enfermedad cerebrovascular

Se denomina ictus o enfermedad cerebrovascular al trastorno brusco de la circulación cerebral que altera de forma transitoria o permanente la función de una región determinada del encéfalo. Según la naturaleza de la lesión vascular, los ictus pueden dividirse en dos grandes grupos atendiendo a su mecanismo de producción: la isquemia cerebral (80-85%) y la hemorragia cerebral (15-20 %) (Figura 2).

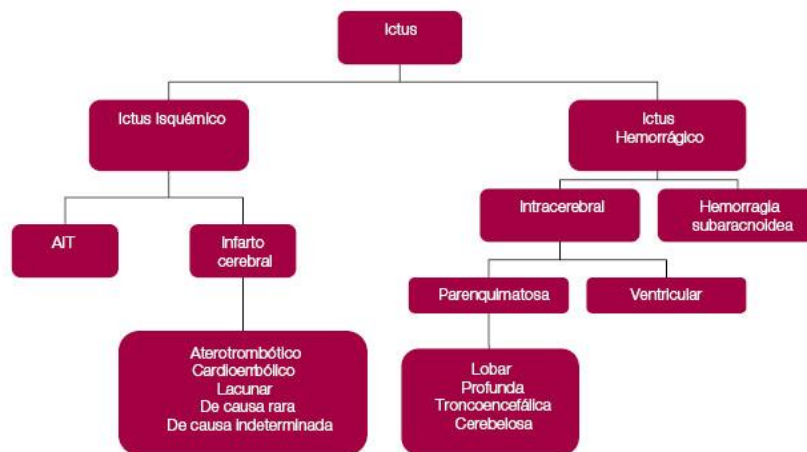


Figura 2. Clasificación de la enfermedad cerebrovascular.

En función del tiempo que dura el proceso isquémico se distingue entre el ataque isquémico transitorio, que consiste en un episodio breve, en general menos de una hora, de disfunción focal originado por isquemia cerebral o retiniana sin evidencia de infarto cerebral; y el infarto cerebral, cuando los síntomas neurológicos permanecen más de 24 horas, que evidencia la necrosis del tejido. Según su etiología, inferida de los mecanismos fisiopatológicos de producción sobre la base de la clínica y exámenes complementarios, se diferencian distintos subtipos de infarto cerebral: aterotrombótico, cardioembólico, lacunar, de causa rara y de origen indeterminado. El ictus hemorrágico supone una extravasación de sangre a la cavidad craneal por rotura de un vaso sanguíneo. Según su localización, podemos clasificar la hemorragia en parenquimatosa (lobar, profunda, troncoencefálica o cerebelosa), ventricular o subaracnoidea.

Sobre la incidencia del ictus y centrándonos en nuestro entorno, un estudio de base poblacional en seis países europeos, publicado en 2009 en la revista *Stroke* por el Registro Europeo de Investigadores en Ictus (*European Registers of Stroke Investigators, EROS*), establece una incidencia anual de ictus ajustada a la población europea que oscila entre 164,2 por 100.000 (IC 95 %: 131,0-203,7) en *Sesto Fiorentino* (Italia) y 398,0 por 100.000 (344,9-457,0) en *Kaunas* (Lituania). En este estudio se incluyó la población de Menorca, siendo la incidencia de ictus en la misma de 182,1 por 100.000 (147,0-223,3). El riesgo de un ictus en este estudio fue más de dos veces mayor en varones que en mujeres.

1.2.3 Implicaciones de un daño cerebral en las funciones cognitivas básicas

Existe una gran evidencia científica de las implicaciones de un daño cerebral en las funciones cognitivas básicas [29, 30]. Multitud de estudios científicos han comprobado resultados alterados tras una lesión cerebral en diferentes pruebas que evalúan aspectos como la memoria, orientación, habla, habilidades visuoespaciales, razonamiento abstracto y habilidades atencionales. Estos estudios revelan que los dominios cognitivos más expuestos a resultar dañados en un escenario de accidente cerebrovascular son la memoria, orientación, lenguaje y atención. Entre los sujetos con un accidente cerebrovascular, las deficiencias cognitivas están mayoritariamente asociadas con síndromes corticales severos, así como con infartos en los territorios anterior y posterior de la arteria cerebral. Además, las discapacidades funcionales son más acusadas cuando existen deficiencias cognitivas. La presencia de deficiencias cognitivas en sujetos con accidentes cerebrovasculares tiene, por tanto, importantes consecuencias funcionales, independientemente de los efectos de las discapacidades físicas.

1.3 Valoración neuropsicológica

Se pueden identificar al menos siete principales objetivos y usos de la valoración neuropsicológica:

- a) Describir fortalezas y debilidades, así como identificar cambios y desórdenes en el funcionamiento psicológico (cognición, emoción, conducta) en términos de presencia, ausencia o intensidad. Aunque pueda parecer que la razón de ser de la neuropsicología sea predecir la presencia de disfuncionalidades en el cerebro, realmente, es mucho más importante la habilidad de describir su funcionamiento. La valoración neuropsicológica puede dar un diagnóstico de un paciente identificando sus fortalezas o debilidades cognitivas y hacer una deducción básica sobre si el estado actual del paciente supone un cambio con respecto a un estado anterior, normalmente no definido, o referencia y si estos cambios pueden considerarse como disfunción.
- b) Determinar las correlaciones biológicas (neuroanatómicas, psicológicas, etc.) de los resultados de los test: detección, cuantificación y localización de las disfunciones cerebrales. Una valoración neuropsicológica intenta determinar si el patrón mostrado por unos resultados de un test, por un comportamiento clínico o cualquier contexto histórico particular del paciente pueden ser atribuidos a un funcionamiento cerebral anormal. Dichas anomalías pueden indicar la presencia de un daño cerebral, un trastorno en el desarrollo o incluso, en algunos casos, una lesión neuroquímica. En la actualidad, con la aparición de técnicas de imagen no invasivas cada vez más precisas, esta faceta ha perdido gran parte de su importancia. Sin embargo, hallar conexiones causales entre síntomas psicológicos y las distintas áreas del cerebro seguirá teniendo gran peso a medida que nuevas biotecnologías se abren paso en el tratamiento y rehabilitación de las anomalías cerebrales.
- c) Determinar si los cambios o disfunciones están asociados con trastornos neurológicos, condiciones psiquiátricas, trastornos del desarrollo o condiciones no neurológicas. Otro de los usos de una valoración neuropsicológica es tratar de averiguar cuáles son las etiologías probables que han producido los cambios o disfunciones registradas. En los casos en los que existe un historial clínico conocido de trastornos neuropsicológicos, se puede llevar a cabo de manera bastante precisa. Esto se cumple en los casos en los que se registran cambios en el comportamiento que incluyen fenómenos históricamente relacionados con la presencia de lesiones en partes concretas del cerebro, causadas por un reducido número de etiologías. Por otro lado, existen situaciones en las que, a pesar de existir etiologías registradas en el historial, los cambios o disfunciones aparentes pueden ser atribuibles a otros factores de tipo psiquiátrico, motivaciones, cultural o del desarrollo.
- d) Evaluar los cambios con el tiempo y llevar a cabo un pronóstico. Una de las aplicaciones más útiles de la valoración neuropsicológica es hacer un seguimiento de las mejoras y empeoramientos del comportamiento con el tiempo. Esto a su vez puede ayudar a determinar la etiología y progresión de la enfermedad, así como para evaluar si el tratamiento o rehabilitación está siendo efectivo.
- e) Ofrecer pautas para establecer planes educativos o de rehabilitación. Una valoración neuropsicológica puede ayudar a, a partir de las fortalezas y debilidades de un paciente, optimizar las estrategias de rehabilitación del mismo, conocer cuáles de los problemas

- pueden ser atribuidos a una disfunción cerebral y cuáles a eventos no neurológicos puede ayudar priorizar tiempo y recursos para que el tratamiento resulte más efectivo.
- f) Ofrecer directrices y formación a familias y cuidadores. De un modo similar, una valoración neuropsicológica puede ayudar a las familias y cuidadores a entender mejor a los pacientes que sufren de importantes limitaciones y así afrontar la situación con mayor garantía. Los familiares pueden reaccionar inapropiadamente a conductas patológicas de un paciente cuando entienden que los síntomas que inicialmente parecían ser causados por motivación o personalidad, en realidad están provocados por una enfermedad.
 - g) Planes de alta y tratamiento. Entender mejor las capacidades del paciente puede ayudar al personal clínico a valorar si éste va a seguir las recomendaciones del tratamiento, así como la medicación. Además, poder valorar también en qué medida el paciente requerirá supervisión una vez haya sido dado de alta.

1.3.1 Valoración de la atención

La valoración de la atención en el día a día clínico se realiza mediante test de lápiz y papel, test con material específico o mediante aplicaciones computarizadas que intentan objetivar los resultados en una tarea y quitar el sesgo que el propio examinador puede añadir a la prueba. Entre estos últimos, destaca la prueba *Conners' Continuous Performance Test II* (CPT-II) que se describe a continuación, y que es una de las pruebas en las que se basa el presente trabajo.

1.3.1.1 *Conners' Continuous Performance Test II*

Descripción

El CPT-II es un test para ordenador que mide la atención sostenida, así como la inhibición de la respuesta, el cual está indicado para ser administrado a sujetos a partir de los 8 años de edad. El CPT-II ofrece un método rápido y estandarizado de valoración de la atención y funciones ejecutivas y es útil en el seguimiento de tratamientos. Aunque en la actualidad ya existe la siguiente versión del mismo, el CPT-III, que presenta ligeras modificaciones respecto al anterior, en el presente trabajo haremos referencia a la segunda versión del mismo. Sin embargo, para proporcionar una estimación económica de este test, nos basaremos en la última versión del mismo, distribuida por *MHS Assessments* (MHS Inc, North Tonawanda, NY, USA), cuyo coste asciende en su versión de uso ilimitado, a 1200 \$.

Versiones preliminares del test empleaban algoritmos que mostraban diferentes letras en pantalla secuencialmente y requerían que el examinado pulsara una tecla cuando se le presentaba una letra "X" o, en versiones más complejas, en las que solo debía pulsarse la "X" si ésta iba precedida de una "A". Estas versiones empleaban tasas de presentación de estímulo fijas, y una relación muy baja de objetivos respecto a distractores.

Sin embargo, el CPT-II emplea un paradigma diferente. En primer lugar, el tiempo entre los estímulos va cambiando, al igual que el tiempo entre los objetivos. En segundo lugar, el CPT-II actúa a la inversa, de modo que la gran mayoría de los estímulos son objetivos, en lugar de distractores. Por ello, el paciente, en lugar de responder relativamente cada bastante tiempo, como en otros test anteriores, el sujeto se ve forzado a pulsar la tecla en más ocasiones y, por ende, a mantener la atención de un modo más continuado, así como a tratar de inhibir la respuesta cuando se trata de una "X". Según los autores, estas diferencias incrementan la fiabilidad de los resultados al aumentar el número de posibles omisiones.

Por otro lado, los autores recalcan que el CPT-II está diseñado como un instrumento clínico, orientado al chequeo y monitorización de la efectividad de un tratamiento, así como a la investigación. Sin embargo, advierten de que no debe tomarse como único fundamento de un diagnóstico, sino que debe formar parte de una evaluación multimodal que emplee diversas fuentes de información.

De acuerdo con el manual del CPT-II, en primer lugar, se somete al sujeto a un pequeño test a modo de práctica de 70 s de duración, después del cual comenzará el test completo, de 14 minutos de duración. A medida que las instrucciones del mismo aparecen en la pantalla, el examinador las repite en voz alta para asegurar su comprensión. Durante toda la prueba, el examinador permanece en la misma habitación, pero en segundo plano. Cualquier pregunta por parte del sujeto al examinador durante la prueba deberá ser contestada con “Contestará a tu pregunta después de la prueba, por favor, continúa”.

El test se divide en seis bloques para permitir observar los cambios con respecto al tiempo. Cada uno de los bloques se subdivide en tres sub-bloques con 20 intentos cada uno. Las letras se muestran a intervalos de 1, 2 o 4 segundos, dependiendo del sub-bloque.

Durante la realización del CPT-II se registran una serie de parámetros o variables (Tabla 3) que son los que permiten obtener la información del sujeto, mediante la cual se podrán establecer conclusiones acerca de su estado o servir de apoyo para un supuesto diagnóstico.

Parámetros	Tipo de déficit	Descripción
Omissions	Inatención	Son los errores en los que el sujeto no pulsa las letras que no son “X”.
Comissions	Inatención o impulsividad	Son las “X” pulsadas erróneamente.
Hit RT	Inatención (lento); impulsividad (rápido)	Tiempo de reacción de todas las pulsaciones a letras distintas de “X”.
Hit RT SE	Inatención	Medida de consistencia que se obtiene del error estándar de los tiempos de reacción.
Variability	Inatención	Medida de consistencia que se obtiene de la desviación estándar del error estándar de cada sub-bloque.
Detectability (d')	Inatención	Proporciona información acerca de cómo el sujeto discrimina entre objetivos y distractores.
Response Style (β)	Impulsividad	Estilo de respuesta del sujeto, expresada como función de un compromiso entre la velocidad y la precisión.
Perseverations	Inatención	Respuesta con tiempo de reacción menor a 100 ms. Se consideran anticipadas debido a la limitación física de reaccionar en menos de dichos 100 ms.
Hit RT Block Change	Inatención; vigilancia	Pendiente de la recta obtenida con los tiempos de reacción de los distintos bloques.
Hit RT SE Block Change	Inatención; vigilancia	Pendiente de la recta obtenida con los errores estándar de los tiempos de reacción de los distintos bloques.
Hit RT ISI Change	Inatención	Pendiente de la recta obtenida con los tiempos de reacción de los distintos ISIs.
Hit RT SE ISI Change	Inatención	Pendiente de la recta obtenida con los errores estándar de los tiempos de reacción de los distintos ISIs.

Tabla 3. Parámetros del Conners' Continuous Performance Test II

El CPT-II ha demostrado muy buenas propiedades psicométricas (Figura 3).

Magnitude of Coefficient	Internal Reliability	Test-Retest Stability
Very high (.90+)	Hit RT ^a	Confidence Index (Neuro)
High (.80-.89)	Omissions Commissions HT SE ^{a]} <i>d</i> Prime	Omissions Confidence Index (ADHD)
Adequate (.70-.79)	Beta	<i>d</i> Prime
Marginal (.60-.69)	Variability	Commissions Hit RT SE Variability Beta
Low (< .59)		Hit RT Perseverations Hit RT Block Change (.28) Hit SE Block Change (.08) Hit RT ISI Change (.51) Hit SE ISI Change (.05)

Note: RT = reaction time; Neuro = neurologically impaired sample; SE = standard error; ISI = interstimulus interval.

^aNot specified in manual, but presumably refers to Hit RT SE. Selected coefficients shown in parentheses.

Source: Adapted from Conners & MHS Staff, 2000.

Figura 3. Fiabilidad test-retest del Conners' Continuous Performance Test II.

Efecto de la edad y género

Las siguientes gráficas de distintas medidas obtenidas en el CPT-II en distintos tramos de edad muestran la variación de los mismos con respecto a la edad de los sujetos (Figura 4-7) [31].

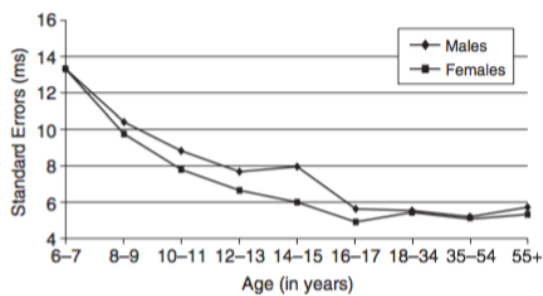


Figura 4. Variación del error estándar con la edad.

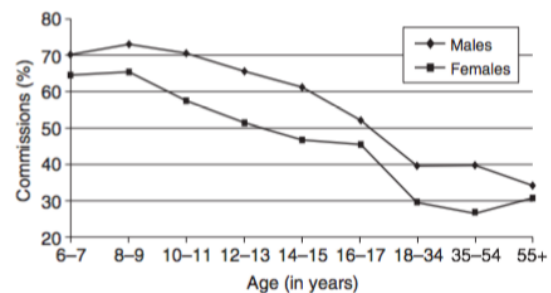


Figura 5. Variación de las comisiones con la edad.

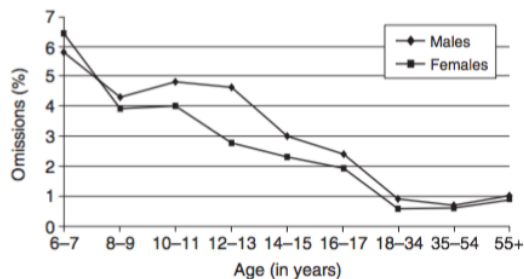


Figura 6. Variación de las omisiones con la edad.

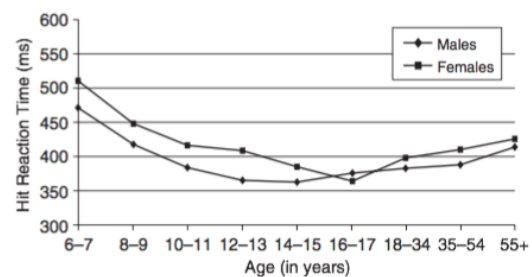


Figura 7. Variación del tiempo de reacción con la edad.

Se observa, por ejemplo, cómo el tiempo de reacción disminuye de 6 a 17 años, luego se estabiliza en los adultos y más adelante, va aumentando progresivamente en edades más avanzadas (Figura 7). En los parámetros que indican la consistencia de la respuesta, como el error estándar, se pueden ver evoluciones similares. Sin embargo, las omisiones y comisiones son mayoritarias en niños y mínimas en la edad adulta. Por otro lado, se evidencia que los hombres cometen más comisiones que las mujeres en todos los rangos de edad, mientras que presentan menores tiempos de reacción que estas.

Digitalizaciones

Existen diversas reproducciones de variaciones del CPT, también en versión digital. Entre ellas cabe destacar el *PEBL Continuous Performance Test*, una versión del CPT-II desarrollada en una plataforma de programación muy intuitiva con fines investigadores para psicólogos (Figura 8). Esta plataforma se conoce como *Psychological Experiment Building Language*, y es una herramienta gratuita para la creación propios test psicológicos o la modificación o personalización de existentes. Esta versión se distribuye gratuitamente y sin ningún tipo de restricción de licencia.

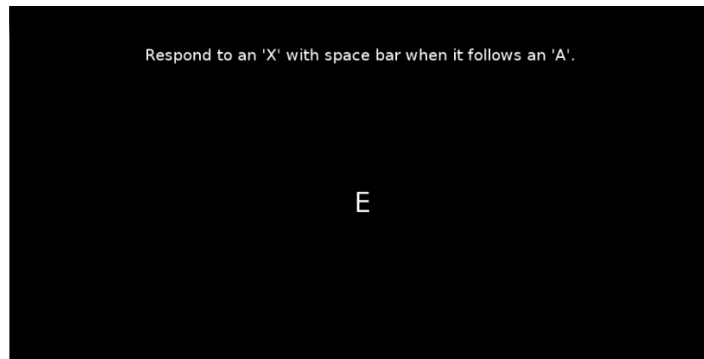


Figura 8. Captura del test PEBL Continuous Performance Test.

1.3.2 Valoración de la memoria

De la misma manera que en la atención, la valoración de la memoria en el día a día clínico se realiza mediante test de lápiz y papel, test con material específico o mediante aplicaciones computerizadas. Una de las pruebas más comunes para evaluar la memoria de trabajo es el *Spatial Span* de la batería *Wechsler Memory Scale–Third Edition*, de la cual existen distintas versiones que se realizan usando bien un tablero físico o *software* específico.

1.3.2.1 *Spatial Span*

Descripción

El *Spatial Span*, así como su test homólogo y quizás más conocido, el *Corsi Block-Tapping Test*, es un test psicológico que evalúa la memoria visuoespacial a corto plazo. La realización del test requiere de una tabla de madera sobre la que se encuentran nueve (*Corsi Block-Tapping Test*) o diez (*Spatial Span*) cubos en posiciones fijas (Figura 9). Al sujeto se le requiere que toque los bloques en el orden en el que previamente han sido tocados por el evaluador. Está basado en test similares, pero orientado a la memoria visuoespacial. Ambos test se suelen utilizar para la evaluación de pérdidas de memoria, pacientes con daño cerebral, problemas de memoria espacial y de memoria verbal.



Figura 9. Materiales del Spatial Span.

El objetivo del test consiste en repetir secuencias de bloques marcadas por el evaluador en orden directo, primero, e inverso, finalmente. El test comienza con una longitud de dos bloques, incrementándose progresivamente hasta que el sujeto bajo estudio no es capaz de repetirla. El número máximo de bloques que el sujeto es capaz de repetir se conoce como longitud máxima o *highest span*. Además, también se registran el número de secuencias correctas e incorrectas.

Estudios empleando resonancia magnética en sujetos siendo sometidos al test muestran que al tiempo que la longitud de la secuencia se incrementa, la actividad cerebral general se mantiene constante, por lo que, aunque los sujetos muestren dificultades, éstas no están relacionadas con la activación cerebral. En cambio, sí que está muy involucrado el córtex prefrontal ventrolateral en la capacidad de llevar a cabo la tarea correctamente. El test con sentido directo necesita el soporte de la agenda visuoespacial, pero no del bucle fonológico. Además, cuando las secuencias sobrepasan los tres o cuatro cubos, entran en juego los recursos centrales ejecutivos.

El *Spatial Span* ha demostrado tener una fiabilidad test-retest moderada (Figura 10).

Magnitude of Coefficient and Percentage Decision Consistency	Test-Retest Coefficient	Percentage Decision Consistency
Very High ($\geq .90$, $\geq 90\%$)		Information and Orientation VPA % Retention (age group 16–54 years) VR II Discrimination Total Score
High (.80–.89, 80–90%)	Mental Control (age group 55–89 years)	Word Lists I Learning Slope (age group 55–89 years) Faces II % Retention Family Pix % Retention
Adequate (.70–.79, 70–79%)	Word Lists I Recall Total (age group 55–89 years) VRI Recall Total (age group 55–89 years) Mental Control (age group 16–54 years) VR II Recall Total (age group 16–54 years) VR II Recognition (age group 55–89 years)	Word List II % Retention (age group 55–89 years) LM I First Recall Total Score (age group 55–89 years) LM Learning Slope VPA I First Recall Total VPA I Learning Slope Word Lists First Recall Total (age group 55–89 years) Word Lists I Learning Slope (age group 16–54 years) Word List I Contrast 2 (age group 55–89 years) VPA % Retention (age group 55–89 years)
Marginal (.60–.69, 60–69%)	Word Lists I Recall Total (age group 16–54 years) Word List II Recall Total Word List II Recognition Total VRI Recall Total (age group 16–54 years) Spatial Span Forward Spatial Span Backward (age group 55–89 years) LM II Thematic Total VR II Recall Total (age group 16–54 years) VR copy (age group 16–54 years)	LM I First Recall Total Score (age group 15–64 years) LM I Thematic Total Word Lists First Recall Total (age group 16–54 years) Word List I Contrast 2 (age group 16–54 years) LM II % Retention VR II % Retention (age group 55–89 years)
Low ($\leq .59$, $\leq 59\%$)	Spatial Span Backward (age group 16–54 years) VR II Recognition (age group 16–54 years) VR Copy (age group 55–89 years)	Word Lists I Contrast 1 Word List II % Retention (age group 16–54 years) VR II % Retention (age group 16–54 years)

Figura 10. Fiabilidad test-retest de la Wechsler Memory Scale–Third Edition.

Efecto de la edad y género

Diversos estudios se han dedicado a tratar de comprobar y medir como afecta la edad del sujeto a su capacidad de recordar la mayor longitud posible. En los sujetos de corta edad se registra un incremento progresivo de la capacidad de memorización con la edad hasta aproximadamente los 14 años, edad a la que se estabiliza [32]. Tras esta edad, comienza una progresiva disminución del *highest span* conforme aumenta la edad de los sujetos (Figura 11).

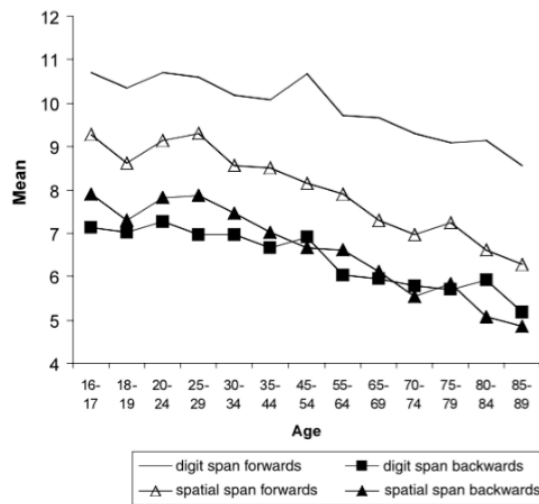


Figura 11. Highest span en el Spatial Span en los modos directo e inverso.

Así mismo, también cabe destacar que, a diferencia del CPT-II, no se registran diferencias apreciables según géneros en este test.

Digitalizaciones

Existen diversas implementaciones de estos test en formato digital, que se han presentado en los últimos años para eliminar la influencia del examinador [33–37]. Recientemente Woods y colaboradores han presentado una versión que modifica la localización de los bloques en cada secuencia [38,39]. Fournet y su equipo también desarrollaron una variante del modo directo del Corsi, denominada *Location Span Task* que funciona indicando las secuencias mediante la iluminación de los bloques [36]. Con la aparición de las *tablets*, la portabilidad de este test a este tipo de dispositivos resulta interesante. El *eCorsi* es una versión del *Corsi Block-Tapping Test* desarrollada para *iPad* (y ordenadores Mac), con el fin de implementar las virtudes de dicho test en una aplicación digital multi-plataforma que en futuro se extienda también a ordenadores personales y sistemas *Android* [34]. Asimismo, la *app PathSpan*, diseñada para iOS se comercializa al precio de 69,99 \$ en el *App Store* para dispositivos iOS [40].

1.4 Hipótesis y objetivos

1.4.1 Hipótesis

La hipótesis del presente trabajo es doble: por una parte, que la digitalización del test de atención *Conners' Continuous Performance Test II* y del test de memoria *Spatial Span* de la batería *Wechsler Memory Scale–Third Edition* tienen un efecto con la edad análogo al de los test convencionales y, por otra parte, que los resultados de ambas versiones son comparables, lo que permitiría utilizar estas herramientas de valoración aumentando su accesibilidad a centros sin grandes recursos económicos.

1.4.2 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son a) desarrollar versiones digitales de los test *Conners' Continuous Performance Test II* y *Spatial Span* tanto para sistemas operativos *Windows*® como para *tablets* y dispositivos *Android*; y b) determinar el comportamiento de ambos test con la edad, y c) determinar la validez convergente de las versiones digitales con los test originales.

2. Materiales y métodos

2.1 Instrumentación

2.1.1 Aplicaciones desarrolladas

Para llevar a cabo este trabajo, se han desarrollado dos versiones de los test descritos en los apartados anteriores, el *Conners' Continuous Performance Test II* y el *Spatial Span*. Cabe destacar que se han desarrollado dos versiones de cada test, correspondientes a los sistemas operativos *Android* y *Windows®*, facilitando así su uso en *tablets* y ordenadores personales, lo que le dota de una mayor polivalencia, manejabilidad y portabilidad, si bien el funcionamiento del test es el mismo en ambas versiones.

2.1.1.1 Test de atención continua (*Continuous attention test*)

El test de atención continua simula el funcionamiento del CPT-II, pero cuenta con una interfaz simplificada, enfocada para un uso cómodo en dispositivos portátiles. La aplicación guía al usuario durante la realización del test y genera un resumen o *report* de su actuación en el mismo, comparándolo con datos normativos. Las variables calculadas por el test desarrollado, extraídas del test original, se muestran en la Tabla 3.

Nombre original	Tipo de déficit	Descripción
Omisiones	Inatención	Objetivos (no X) perdidos
Comisiones	Inatención, impulsividad	Respuestas a distractores (X)
TR	Inatención, impulsividad	Tiempo de reacción
TR – Error estándar	Inatención	Consistencia del tiempo de reacción
Variabilidad	Inatención	Variabilidad de la consistencia del tiempo de reacción
Detectabilidad (d')	Inatención	Habilidad de discriminar entre objetivos (no X) y distractores (X)
Perseveraciones	Impulsividad	Respuestas aleatorias o anticipatorias (TR < 100 ms)
Cambio del TR a lo largo de los bloques	Atención sostenida	Cambio del TR a lo largo de los bloques
Cambio del TR a lo largo de los bloques	Vigilancia	Cambio del TR a lo largo de los bloques
Cambio del TR a lo largo de los bloques – Error estándar	Vigilancia, inatención	Cambio del error estándar del TR a lo largo de los bloques
Cambio del TR a diferentes IIE	Vigilancia, inatención	Cambio del TR a diferentes intervalos inter-estímulo

Tabla 4. Variables calculadas por el test de atención continua.

A continuación, se describe el flujo de la aplicación. Al inicio, la aplicación muestra una pantalla inicial simplificada que ofrece algunas opciones introducidas que completan las funciones del test original (Figura 12).



Figura 12. Pantalla inicial del test de atención continua.

Por ejemplo, en la esquina inferior derecha tenemos dos iconos que permiten la activación o desactivación de sonido y vibración (cuando esta esté disponible en el dispositivo). Estas funcionalidades, en caso de estar activados los iconos, se reproducen cuando durante la realización del test se toca la pantalla y su función es dotar al sujeto que realiza el test de cierto grado de realimentación o *feedback* propioceptivo, tratando de imitar el conseguido en el test CPT-II al pulsar la barra espaciadora. Otro icono en la esquina inferior izquierda despliega una pequeña ventana con información general del test. Otro en la parte superior izquierda permite salir de la aplicación. Finalmente, el botón central da paso al comienzo de la prueba en sí. Antes de esto, la siguiente pantalla muestra un formulario que permite introducir los datos del sujeto a evaluar (Figura 13).

Figura 13. Introducción de los datos del sujeto en las aplicaciones.

Estos datos se añadirán servirán para la posterior identificación del *report* generado a la conclusión del test. También es posible activar la opción de modo test, mediante el seleccionable en la parte inferior. Esta funcionalidad permite hacer pruebas con la aplicación, por ejemplo, para demostrar su funcionamiento sin tener que introducir datos.

Pulsando nuevamente el botón, una nueva pantalla nos advierte de la posibilidad de abortar la prueba en curso pulsando el botón “Atrás” del dispositivo o la tecla *Escape* del teclado, según el caso (Figura 14).

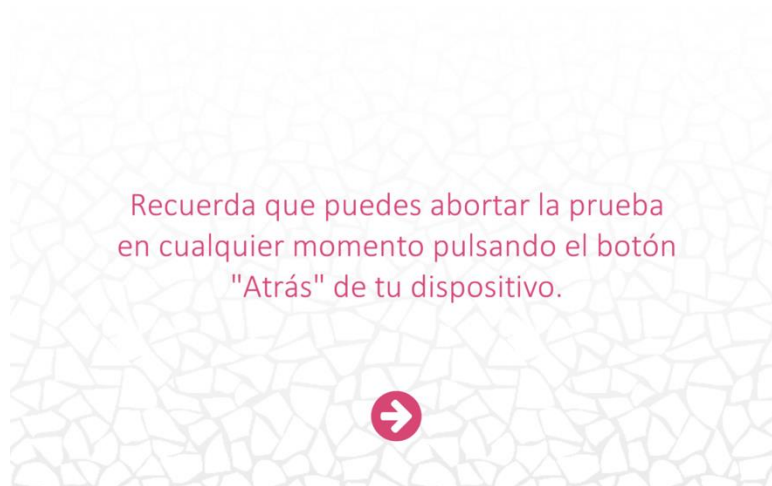


Figura 14. Pantalla de explicación de la función para abortar los test.

Finalmente, pulsando el botón existente se pasa a la pantalla siguiente donde se describe el objetivo del test (Figura 15).

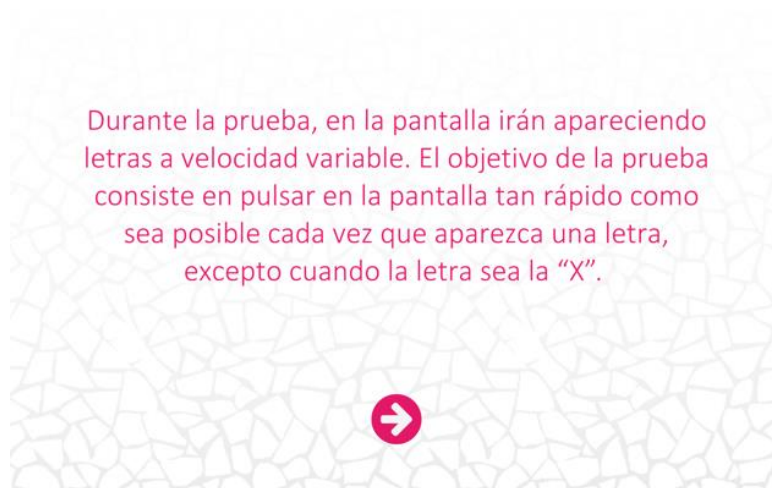


Figura 15. Instrucciones del test de atención continua.

Finalmente, tras pulsar una última vez el botón, la aplicación da comienzo al test en sí, que comienza tras una cuenta atrás. El test refleja un comportamiento idéntico al del CPT-II (Figura 16).

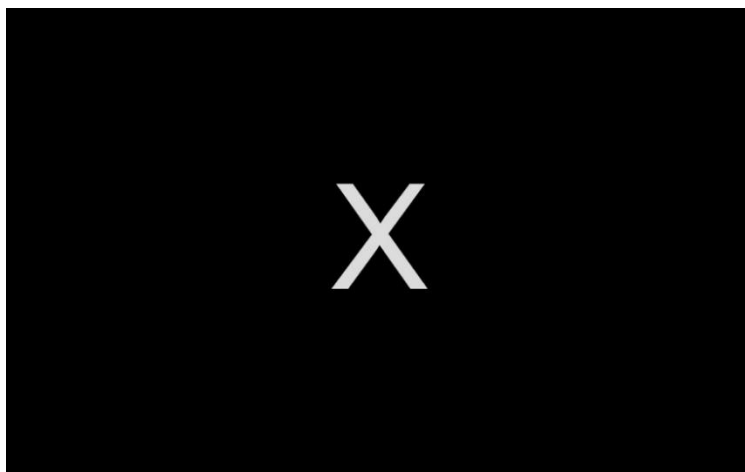


Figura 16. Captura de una ejecución del test de atención continua.

Así pues, el desarrollo del test se prolonga durante 14 minutos. Al finalizar, la aplicación lleva automáticamente hasta la última pantalla, donde se muestran los resultados, y donde también se genera un documento más detallado con todos los datos del test, el cual se almacena internamente en el dispositivo en formato CSV (en el caso de *Android* en la ruta */Android/data/com.NRHB.CAT/files*), pudiéndose exportar de diversos modos (Figura 17).



Figura 17. Pantalla (no definitiva) de resultados del test de atención continua.

En esta pantalla, aparecen tres botones en la parte inferior de la pantalla que permiten, de izquierda a derecha, salir de la aplicación, volver a la pantalla principal, o compartir, enviar o almacenar externamente el *report* de resultados del test. Además, un botón de ayuda, proporciona información de las variables mostradas en la pantalla (Figura 18).



Figura 18. Explicación de las variables resultado del test de atención continua.

2.1.1.2 Test de memoria visuoespacial (*Visuospatial memory test*)

El test de memoria visuoespacial simula el funcionamiento del *Spatial Span*, con características análogas a la aplicación descrita anteriormente. Si bien el test de atención continua simulaba el test CPT-II, el test de memoria visuoespacial es una digitalización de un test clásico que requiere elementos físicos. De la misma manera, la aplicación guía al usuario durante la realización del test y genera un resumen o *report* de su actuación en el mismo, comparándolo con datos normativos. Las variables calculadas por el test desarrollado, extraídas del test original y a las que se añaden tiempos de reacción y perseveraciones, se muestran en la Tabla 5.

Nombre original	Descripción
Longitud de secuencia máxima (n)	Longitud de la última secuencia alcanzada
Secuencias correctas (n)	Secuencias completadas correctamente
Tiempo de reacción (ms)	Tiempo de reacción en las secuencias correctas
Secuencias erróneas (n)	Secuencias completadas erróneamente
Omisiones (n)	Secuencias no completadas
Perseveraciones (n)	Toques realizados fuera de turno

Tabla 5. Variables calculadas por el test de memoria visuoespacial.

A continuación, se describe el flujo de la aplicación. Siguiendo una estructura análoga a la aplicación anterior, la aplicación muestra una pantalla inicial con la misma funcionalidad que el test de atención continua, en la que destacan tres botones centrales (Figura 19). Éstos permiten administrar la prueba en tres variantes: bien el test completo, o bien los modos directo e inverso individualmente.



Figura 19. Pantalla principal del test de memoria visuoespacial.

La aplicación sigue un flujo casi idéntico al test de atención continua, por lo que al seleccionar cualquiera de las tres modalidades de ejecución aparecerá la pantalla de introducción de datos del sujeto (Figura 13), seguida de las instrucciones para abortar el test durante la ejecución (Figura 14) y la explicación para su realización (Figura 15). En el caso del test completo, las respectivas instrucciones de cada uno de los modos aparecen justo antes de ellos, yendo a su vez, uno precedido del otro.

Finalmente, tras la última pantalla, la aplicación da paso al test propiamente dicho. En éste se han reproducido las posiciones de los cubos físicos que se disponen en el tablero del *Spatial Span* y se muestran en la pantalla (Figura 20).



Figura 20. Captura de una ejecución del test de memoria visuoespacial.

A diferencia del test clásico, la aplicación administra el test automáticamente, sin necesidad de un terapeuta. Una serie de animaciones muestran un brazo con un dedo extendido que aparece desde el lado opuesto de la pantalla de la aplicación, y que se desplaza tocando los bloques, definiendo las secuencias correspondientes (Figura 21).

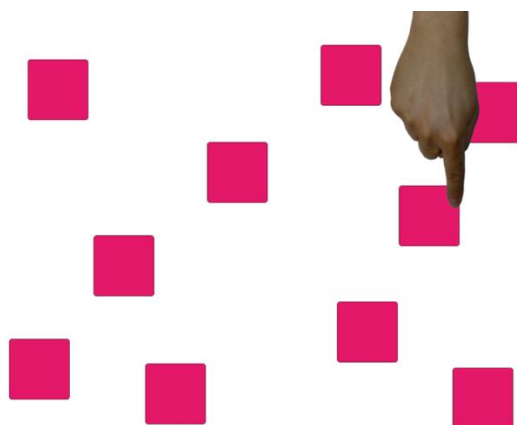


Figura 21. Captura de la animación de la mano describiendo una secuencia en el test de memoria visuoespacial.

De un modo automatizado, el test alterna dichas animaciones con espacios de 15 s en los que el sujeto debe responder tocando en la pantalla los cubos en orden correcto (en el mismo orden en modo directo, o en modo contrario en modo inverso). La aplicación corrige las respuestas y al finalizar ofrece resultados de la actuación del usuario. De la misma manera que en la aplicación anterior, al finalizar el test, la aplicación muestra los resultados y genera un documento más detallado con todos los datos del test en formato CSV que se almacena internamente (en el caso de Android en la ruta /Android/data/com.NRHB.SST/files) y permite exportar los resultados por vías diferentes (Figura 22).

Medidas	Valor
Modo Directo	
Longitud de secuencia máxima (n)	6
Secuencias correctas (n)	10
Tiempo de reacción (ms)	1016,5
Secuencias erróneas (n)	2
Omisiones (n)	0
Perseveraciones (n)	0
Modo Inverso	
Longitud de secuencia máxima (n)	-
Secuencias correctas (n)	-
Tiempo de reacción (ms)	-
Secuencias erróneas (n)	-
Omisiones (n)	-
Perseveraciones (n)	-

El informe completo completo ha sido guardado con éxito en /Android/data/com.NRHB.SST/files

Figura 22. Ejemplo de resultados obtenidos en el modo directo del test de memoria visuoespacial.

2.1.1.3 Accesibilidad

Como hemos comentado en varios apartados a lo largo de este trabajo, uno de los objetivos de los desarrollos realizados es aumentar la accesibilidad de estas herramientas a todo el personal clínico, especialmente a los profesionales que desempeñen su trabajo en clínicas de pequeño tamaño y sin grandes posibilidades económicas.

Se han desarrollado dos versiones de cada test, correspondientes a los sistemas operativos *Android* y *Windows*[®], facilitando así su uso en *tablets* y ordenadores personales. Asimismo, las versiones para sistemas *Android* se encuentran disponibles en el repositorio

Google Play Store (Alphabet Inc., CA, USA) [41, 42] y las versiones para sistemas *Windows*[®] se encuentran disponibles en la web del grupo [43, 44] todas ellas de manera gratuita.

Cabe recordar que ésta es una importante ventaja, ya que los test tradicionales originales suelen tener precios de venta elevados y poca accesibilidad (están comercializadas por una única empresa), lo cual dificulta su acceso a los profesionales.

2.1.2 Software utilizado

2.1.2.1 Unity

Definición

Unity (Unity Technologies, San Francisco, CA, USA) es un motor gráfico multiplataforma. Está disponible como plataforma de desarrollo para *Microsoft Windows*[®], *OS X* y *Linux*. La plataforma de desarrollo tiene soporte de compilación con diferentes tipos de plataformas. En la actualidad, *Unity* se postula como la herramienta de desarrollo de referencia con una gran popularidad debido a su habilidad para haber recogido las necesidades de numerosos desarrolladores independientes que no pueden permitirse desarrollar sus propios motores gráficos o herramientas de desarrollo de videojuegos propias. El enfoque de la compañía es "democratizar el desarrollo de juegos", y hacer el desarrollo de contenidos interactivos en 2D y 3D lo más accesible posible a tantas personas en todo el mundo como sea posible. Esta característica hace a *Unity* idónea para el desarrollo de juegos o aplicaciones para diversas plataformas para los pequeños desarrolladores, ya que permite poner en marcha proyectos desde cero sin más inversión que la del propio *Unity*, que además cuenta con una versión gratuita, y por ello es la herramienta elegida por nosotros para el desarrollo de nuestras aplicaciones, además de por su fácil aprendizaje y manejo.

En el editor de *Unity* se pueden encontrar un gran número de herramientas, las cuales permiten organizar y crear las distintas funcionalidades que se requieran. En este espacio de trabajo es posible ubicar todos los objetos que intervendrán en la acción, definiendo sus características y propiedades, así como asignarles posibles funcionalidades mediante el código.

Particularidades

Como hemos introducido en el apartado anterior, se ha empleado *Unity* para el desarrollo de las aplicaciones dada en su versatilidad a la hora del desarrollo e implementación en las distintas plataformas, así como su sencillez, dada la gran cantidad de recursos y herramientas que incorpora. Sin embargo, el entorno presenta marcadas diferencias con otras herramientas y tecnologías que se han podido ver en el Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación. Por ello, previamente al comienzo del desarrollo de las aplicaciones, fue imprescindible aprender el funcionamiento básico de *Unity*.

Podemos diferenciar dos aspectos separados en el proceso del desarrollo en *Unity*. Por un lado, el proceso de diseño de la interfaz, que se lleva a cabo en el propio *Unity* y, por otro lado, toda la parte de programación, que se lleva a cabo en el editor, para lo que se ha utilizado *MonoDevelop* (Novell, MA, USA). En *Unity*, a través de *MonoDevelop*, se pueden emplear diversos lenguajes de programación, siendo los más comunes *Javascript* y *C#*. Nos quedaremos con este último ya que es el que más se adecúa a nuestras necesidades.

C# es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado y estandarizado por *Microsoft* como parte de su plataforma *.NET*. Su sintaxis básica deriva de *C/C++* y utiliza el modelo de objetos de dicha plataforma *.NET*, similar al de *Java*, aunque incluye mejoras derivadas de otros lenguajes. El nombre *C#* viene inspirado por la notación musical, ya que al

ser '#' un sostenido, lo que indica que una nota está por encima de otra en términos de tonalidad, se está sugiriendo que C# está por encima de C o C++. Por ello, durante el desarrollo de este trabajo ha sido posible utilizar aquellos conocimientos previamente adquiridos de C y Java aprendidos a lo largo de los estudios de grado, tan solo atendiendo a las diferencias entre ellos, así como a las funciones y métodos propios de Unity.

Con respecto a la parte de diseño, se ha empleado puramente la interfaz del editor de Unity a través de la escena. En esta parte se ha llevado a cabo un aprendizaje más profundo, ya que este modo de programación no ha sido visto en ninguna asignatura de grado, si bien pueden existir similitudes entre la manera de trabajar con el editor de Unity y el entorno Blender, empleado en algunas asignaturas de especialidad.

2.1.2.2 SPSS Statistics

Definición

SPSS Statistics (IBM, Armonk, NY, USA) es *software* de análisis estadístico diseñado tanto para la colección de datos como para el análisis y la generación de informes. SPSS es uno de los programas estadísticos más conocidos dada su capacidad para trabajar con grandes bases de datos y su sencillo interfaz para la mayoría de análisis. SPSS cuenta con un sistema de módulos similar al de algunos lenguajes de programación que lo dotan de una serie de capacidades adicionales a las existentes en el sistema base. Algunos de los módulos disponibles son:

- Modelos de regresión
- Modelos avanzados (reducción de datos, clasificación y pruebas no paramétricas)
- Tendencias
- Categorías (análisis multivariados)
- Análisis conjunto
- Muestras complejas
- Árboles de clasificación
- Validación de datos

Concretamente, en el presente trabajo se ha usado esta herramienta para el cálculo de la potencia estadística de las correlaciones (ver sección 2.2.3).

2.2 Procedimiento

2.2.1 Participantes

Para este estudio se reclutó una muestra de participantes sanos de todas las edades sin historial de déficits cognitivos.

Un total de 25 sujetos participaron en el estudio. La muestra final estuvo formada por 10 hombres y 15 mujeres, con una media de edad de $29,7 \pm 15,2$ y $18,3 \pm 4,2$ años de educación.

2.2.2 Procedimiento

El estudio se llevó a cabo en habitaciones destinadas a tal efecto, libres de ruido y distractores. Todos los participantes fueron evaluados con las versiones originales y digitales del *Conners' Continuous Performance Test II* y del test de memoria *Visual Memory Span* en orden contrabalanceado. Ambos test se realizaron dentro de un margen de 48 h por el mismo experimentador.

De cada test se registraron las variables más significativas (Tabla 6)

Atención	Memoria visuoespacial
<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de reacción • Tiempo de reacción – Error estándar • Omisiones • Comisiones • Perseveraciones • Cambio del tiempo de reacción en diferentes IIE • Cambio del tiempo de reacción en diferentes IIE – Error estándar • Cambio del tiempo de reacción a lo largo de los bloques • Cambio del tiempo de reacción a lo largo de los bloques – Error estándar 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de reacción (sólo test digital) • Longitud de secuencia máxima en modo directo • Secuencias correctas en modo directo • Omisiones en modo directo • Perseveraciones en modo directo (sólo test digital) • Longitud de secuencia máxima en modo inverso • Secuencias correctas en modo inverso • Omisiones en modo inverso • Perseveraciones en modo inverso (sólo test digital)

Tabla 6. Variables bajo análisis de cada test. IIE: Intervalo Inter-Estímulo

2.2.3 Análisis de los datos

Para cada variable descrita en la Tabla 6, proporcionada por los test tradicionales y digital se realizaron correlaciones bivariadas de Pearson tanto para las comparaciones de estas variables con la edad como para las comparaciones entre ellas. El nivel α se definió como 0.05 de manera bilateral para todos los análisis. Los análisis estadísticos se realizaron mediante *SPSS Statistics* versión 22.

3. Resultados

3.1.1 Test de atención

Para comprobar la primera hipótesis del presente trabajo, se realizaron correlaciones entre cada una de las variables proporcionadas por cada test de atención con la edad. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 7.

Variable	Test tradicional	Test digital
Tiempo de reacción	r=0.622, p=0.008	r=0.607, p=0.010
Tiempo de reacción – Error estándar	r=0.473, p=0.056	r=0.461, p=0.062
Omisiones	r=0.306, p=0.233	r=0.044, p=0.868
Comisiones	r=-0.401, p=0.111	r=-0.446, p=0.073
Perseveraciones	r=-0.079, p=0.763	r=-0.371, p=0.143
Cambio del tiempo de reacción en diferentes IIE	r=0.120, p=0.645	r=-0.200, p=0.441
Cambio del tiempo de reacción en diferentes IIE – Error estándar	r=-0.063, p=0.645	r=-0.006, p=0.981
Cambio del tiempo de reacción a lo largo de los bloques	r=0.072, p=0.784	r=-0.112, p=0.669
Cambio del tiempo de reacción a lo largo de los bloques – Error estándar	r=-0.580, p=0.015	r=-0.158, p=0.556

Tabla 7. Correlaciones entre los test de atención tradicional y digital con la edad

Los resultados evidenciaron correlaciones estadísticamente significativas y moderadamente altas entre el tiempo de reacción y la edad y una tendencia a la significación entre las comisiones realizadas en el test digital. Además, se detectó una correlación negativa significativa moderada en el error estándar del cambio del tiempo de reacción. De entre éstas, es de especial relevancia la correlación existente entre el tiempo de reacción en ambos test y la edad, lo cual evidencia un enlentecimiento de la respuesta, es decir, un aumento del tiempo de reacción con la edad.

Para comprobar la segunda hipótesis, se correlacionaron las variables proporcionadas por ambas versiones del test de atención bajo estudio. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 8.

Variable	Correlación
Tiempo de reacción	r=0.701, p=0.002
Tiempo de reacción – Error estándar	r=0.294, p=0.252
Omisiones	r=0.258, p=0.317
Comisiones	r=0.605, p=0.010
Perseveraciones	r=0.552, p=0.021
Cambio del tiempo de reacción en diferentes IIE	r=0.140, p=0.592
Cambio del tiempo de reacción en diferentes IIE – Error estándar	r=0.326, p=0.201
Cambio del tiempo de reacción a lo largo de los bloques	r=0.205, p=0.430
Cambio del tiempo de reacción a lo largo de los bloques – Error estándar	r=0.164, p=0.529

Tabla 8. Correlaciones entre los test de atención

Los resultados mostraron correlaciones moderadas y moderadamente altas entre ambos test en las variables tiempo de reacción, comisiones y perseveraciones.

3.1.2 Test de memoria

Nuevamente, para comprobar la primera hipótesis, se realizaron correlaciones entre cada una de las variables proporcionadas por cada test de memoria con la edad. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 9.

Variable	Test tradicional	Test digital
Tiempo de reacción en modo directo	-	r=0.581, p=0.014
Longitud de secuencia máxima en modo directo	r=-0.183, p=0.483	r=-0.391, p=0.121
Secuencias correctas en modo directo	r=-0.243, p=0.346	r=-0.365, p=0.149
Omisiones en modo directo	-	r=0.167, p=0.522
Perseveraciones en modo directo	-	r=-0.256, p=0.321
Tiempo de reacción en modo inverso	-	r=0.678, p=0.003
Longitud de secuencia máxima en modo inverso	r=-0.337, p=0.186	r=-0.478, p=0.052
Secuencias correctas en modo inverso	r=-0.382, p=0.131	r=-0.543, p=0.024
Omisiones en modo inverso	-	r=0.223, p=0.390
Perseveraciones en modo inverso	-	r=-0.361, p=0.155

Tabla 9. Correlaciones entre los test de memoria tradicional y digital con la edad

Los resultados evidenciaron ausencia de correlaciones con la edad estadísticamente significativas en el test tradicional, pero sí algunas correlaciones significativas en el test digital. Pese a ello, cabe destacar que el sentido de las correlaciones fue coherente en ambos test. Así, en ambos test se evidenció una correlación negativa en la longitud máxima de la secuencia o *highest span* y en el número de aciertos en ambos modos, lo que indica que a mayor edad se cometen más errores y se tiene menor habilidad para recordar las secuencias. De manera similar a los test de atención, el tiempo de reacción mostró correlaciones significativas con la edad tanto para el modo directo como para el inverso.

Para comprobar la segunda hipótesis, se correlacionaron las variables proporcionadas por ambas versiones del test de memoria bajo estudio. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 10.

Variable	Correlación
Longitud de secuencia máxima en modo directo	r=-0.095, p=0.716
Secuencias correctas en modo directo	r=-0.197, p=0.449
Omisiones en modo directo	-
Longitud de secuencia máxima en modo inverso	r=0.594, p=0.012
Secuencias correctas en modo inverso	r=0.710, p=0.001
Omisiones en modo inverso	-

Tabla 10. Correlaciones entre los test de memoria

Los resultados mostraron correlaciones moderadas y moderadamente altas entre ambos test en las variables *highest span* y en el número de aciertos en el modo inverso, mientras que no se detectaron correlaciones significativas en el modo directo.

4. Discusión

4.1 Test de atención continua (Continuous attention test)

En cuanto a las correlaciones con la edad, tal y como comentábamos en los resultados, se obtienen correlaciones estadísticamente significativas y moderadamente altas entre el tiempo de reacción y la edad, no sólo en ambas versiones del test de atención, sino también en la digitalización del test de memoria. Esto evidencia un enlentecimiento del tiempo de reacción con la edad, según el cual los sujetos de mayor edad necesitan tener un tiempo de respuesta mayor, lo cual es coherente con los resultados previos en el CPT-II [31]. Sin embargo, cabe destacar que en nuestro estudio este enlentecimiento del tiempo de reacción no mostró efectos estadísticamente significativos en la ejecución del test. Los resultados normativos del CPT-II, el cual se ilustra en las Figura 4-7, indican, en cambio, una tendencia decreciente con la edad en el número de comisiones y omisiones, según el cual los sujetos de mayor edad tardarían más tiempo en contestar, pero cometerían menos errores. Nuestros datos, al contrario, no muestran esta relación en las omisiones, si bien parecen evidenciar una tendencia a la significación en las comisiones en ambos test. Las relaciones detectadas en estas dos variables, tiempo de reacción y comisiones, respaldan la idea de que parece existir una reducción de la impulsividad con la edad. Muchas comisiones y un reducido tiempo de reacción pueden reflejar un comportamiento impulsivo, más presente en sujetos de menor edad. Las características de la muestra bajo estudio, la cual presentó discrepancias con los valores normativos, y el número de participantes podría explicar los resultados obtenidos.

Con respecto a las similitudes entre ambos test, se detectaron correlaciones aceptables en el tiempo de reacción y moderadas en el número de omisiones y comisiones. Estos resultados respaldan los obtenidos previamente al comparar los resultados de una muestra de población sana en el test convencional y en un test desarrollado en *Psychology Experimental Building Language* [45]. Más allá, tanto la magnitud de las correlaciones como las variables con relaciones significativas coinciden con las reportadas al comparar otra simulación del CPT-II con el test convencional [46]. Cabe destacar además que la propia fiabilidad test-retest del test convencional, que expresa la variabilidad intra-sujeto al realizar el mismo test en diversas ocasiones, ha demostrado ser alta para las omisiones pero moderadas para las comisiones y el tiempo de reacción [31]. La validez convergente del test desarrollado con el original es, por tanto, del orden de estos valores, lo cual destaca los resultados obtenidos. Además, la variabilidad intra-sujeto de pruebas similares programadas en *Psychology Experimental Building Language* también ha demostrado ser moderada en el mejor de los casos [47]. Estos resultados validan preliminarmente el uso de esta aplicación para la valoración de la atención.

Nuevos estudios incluyendo más participantes sanos, así como usuarios que presenten alteraciones en las habilidades atencionales son necesarios para validar su uso en población patológica.

4.2 Test de memoria visuoespacial (Visuospatial memory test)

En relación a los resultados obtenidos en la edad, no se encontraron efectos significativos de la edad en el *highest span* ni en modo directo ni en inverso en el test convencional. En el test digital desarrollado, sin embargo, se detectaron varias interacciones significativas. Por una parte, de manera homóloga al test de atención, se detectó un efecto moderado de la edad en el tiempo de reacción que ilustró, nuevamente, un enlentecimiento del tiempo de respuesta con

la edad, también reportado con anteriores digitalizaciones del test [39]. Cabe recordar que esta variable no se calcula en el test convencional, pero las capacidades de los dispositivos digitales permitieron el cálculo de este parámetro en la digitalización. Por otra parte, la variable *highest span* y el número de respuestas correctas en modo inverso mostraron una dependencia negativa moderada y moderadamente baja con la edad, lo cual evidencia una peor ejecución del test en los sujetos de mayor edad en el modo inverso, lo cual va en línea de lo reportado en la bibliografía [32,39]. Sin embargo, estas relaciones, no fueron significativas en modo directo, en contra de estos informes. Este efecto podría explicarse, en parte, debido a la naturaleza de las habilidades requeridas por ambos modos. Si bien el modo directo requiere un predominio de la memoria visuoespacial a corto plazo, el modo inverso podría requerir, además, habilidades más relacionadas con la planificación. El efecto de la edad en las funciones ejecutivas podría ser más predominante que en la memoria en sí [32]. Además, el efecto de la digitalización del test (se usó una *tablet* en lugar del tablero físico) podría haber contribuido a que este efecto se detectara sólo en el test digital, mientras que en el convencional no hubo ninguna relación estadística. Pese a todo, de igual manera que en el test anterior, un aumento en el número de participantes podría aumentar la potencia estadística de la tendencia detectada.

Con respecto a la validez convergente del test, ambos test mostraron correlaciones moderadas y moderadamente altas en los parámetros del modo inverso. Sin embargo, la comparación de los parámetros del modo directo mostró una ausencia de correlación entre ambos test. Si bien, la magnitud de las correlaciones en modo inverso va en línea de lo obtenido en test similares programados en *Psychology Experimental Building Language* [47], la ausencia de éstas en modo directo podría deberse, al menos en parte, a las características de la muestra, por una parte, y a la distinta naturaleza de las habilidades requeridas en cada test y al orden de compleción del test en sí. Cabe destacar, sin embargo, que este test tiene propiedades psicométricas moderadas, con un test-retest de moderado a moderadamente bajo [31], lo cual daría mayor relevancia a los resultados obtenidos en nuestro estudio, que validarían preliminarmente el uso del modo inverso esta aplicación para la valoración de la memoria visuoespacial.

Nuevamente, estudios incluyendo más participantes sanos, así como usuarios que presenten alteraciones en las habilidades mnésicas y ejecutivas son necesarios para validar el uso del test al completo y su aplicación en población patológica.

5. Conclusiones

En el presente trabajo se han desarrollado dos aplicaciones distribuidas de manera gratuita, tanto para dispositivos portátiles *Android* y ordenadores *Windows*[®], que simulan y digitalizan los test *Conners' Continuous Performance Test II* y *Spatial Span* de la batería *Wechsler Memory Scale-Third Edition*, ampliamente utilizados en la valoración de la atención y la memoria visuoespacial, respectivamente, y se ha estudiado el efecto de la edad en su ejecución y su validez convergente con los test originales. Un total de 25 sujetos han participado en este trabajo, completando ambas versiones (digital en *tablet* y convencional) de ambos test en orden contrabalanceado. Los resultados obtenidos respaldan el efecto negativo de la edad en el tiempo de reacción en ambos test, así como en el modo inverso del test de memoria visuoespacial, lo cual respalda resultados previos con estos test. Los resultados obtenidos en el modo directo de este último test, en cambio, no evidencian efecto alguno de esta variable (ni en el test convencional ni en el digital). Con respecto a la validez convergente de los test, los resultados muestran correlaciones moderadas y moderadamente altas tanto en el test de atención como en el modo inverso del test de memoria visuoespacial, lo cual es de especial relevancia considerando estudios previos y la fiabilidad test-retest de estas pruebas. Si bien nuevos estudios con un mayor número de participantes, así como incluyendo población con alteraciones en estas funciones cognitivas, son necesarios para validar el uso de los test desarrollados en población patológica, los resultados de este trabajo validan preliminarmente el uso de versiones digitales del *Conners' Continuous Performance Test II* y el *Spatial Span*, las cuales pueden, aparte de proporcionar información objetiva de la ejecución aumentar la accesibilidad del personal clínico a estas herramientas, al estar accesibles en internet de manera gratuita.

Bibliografía

- [1] M. I. Posner and P. Bourke, "Attention," in *The Blackwell Dictionary of Neuropsychology*, 1999, pp. 122–127.
- [2] M. I. Posner, "Attention in cognitive neuroscience: An overview.," in *The cognitive neurosciences*, 1995, pp. 615–624.
- [3] T. Shallice, "From neuropsychology to mental structure," *Cambridge Univ. Press*, 1988.
- [4] S. P. Tipper, "The negative priming effect: inhibitory priming by ignored objects.," *Q. J. Exp. Psychol. A.*, vol. 37, no. 4, pp. 571–590, 1985.
- [5] B. Milliken and S. P. Tipper, "Attention and Inhibition," *Attention*. pp. 191–221, 1998.
- [6] R. E. Walley and T. D. Weiden, "Lateral inhibition and cognitive masking: A neuropsychological theory of attention.," *Psychol. Rev.*, vol. 80, no. 4, pp. 284–302, 1973.
- [7] Y. Posner, M.I.; Cohen, "Facilitation and inhibition on shifts of visual attention.," *Atten. Perform. X*, 1984.
- [8] A. D. Baddeley, "Working memory," *Oxford Clarendon Press.*, 1986.
- [9] L. Kirby, E; Grimley, *Trastorno por Déficit de Atención*. Mexico D.F.: Limusa, 1992.
- [10] A. Estévez-gonzález, C. García-sánchez, and C. Junqué, "La atención: una compleja función cerebral," *Rev. Neurol. (Paris).*, vol. 25, no. 148, pp. 1989–1997, 1997.
- [11] J. Celada and E. Cairo, *Actividad psíquica y cerebro 3*. Lima: Neuropsicología y Rehabilitación, 1990.
- [12] J. Rubenstein, *Principios de Psicología General*. Mexico D.F.: Grijalbo, 1982.
- [13] M. J. Benedet, *Fundamento teórico y metodológico de la Neuropsicología Cognitiva*. 2002.
- [14] M. Moscovitch, "Memory and working with memory: Evaluation of a component process model and comparisons with other models," in *Memory Systems*, 1994, pp. 269–310.
- [15] M. Moscovitch, "Recovered consciousness: A proposal for making consciousness integral to neuropsychological theories of memory in humans and non humans," *Behav. Brain Sci.*, vol. 19, no. 4, pp. 768–770, 1996.
- [16] C. S. Dodson and D. L. Schacter, "Memory distortion," *Handb. Cogn. Neuropsychol. What Deficits Reveal About Hum. Mind*, 2001.
- [17] D. L. Schacter, "Priming and Multiple Memory Systems: Perceptual Mechanisms of Implicit Memory," *J. Cogn. Neurosci.*, vol. 4, no. 3, pp. 244–256, 1992.
- [18] M. Moscovitch and G. Winocur, "Frontal lobes, memory, and aging.," *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 769, pp. 119–50, Dec. 1995.
- [19] F. I. M. Craik and R. S. Lockhart, "Levels of processing: A framework for memory research," *J. Verbal Learning Verbal Behav.*, vol. 11, no. 6, pp. 671–684, 1972.
- [20] L. Nadel and M. Moscovitch, "Memory consolidation, retrograde amnesia and the hippocampal complex," *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 7, no. 2. pp. 217–227, 1997.
- [21] A. J. Parkin, "The structure and mechanisms of memory," in *The Handbook of Cognitive Neuropsychology*, Filadelfia: Psychology Press, 2001, pp. 399–422.
- [22] D. L. Schacter and E. Tulving, "Memory, amnesia, and the episodic/semantic distinction," in *The expression of knowledge*, New York: Plenum, 1982, pp. 33–61.
- [23] E. Tulving, "Organization of Memory: Quo Vadis?," in *The Cognitive Neurosciences*, 1995, pp. 839–847.
- [24] E. Tulving, "Introduction," in *The cognitive neurosciences*, M.S. Gazzaniga, Cambridge, MA, 1995, pp. 751–753.
- [25] E. Tulving, "Elements of episodic memory," *Behav. Brain Sci.*, vol. 7, pp. 223–268, 1984.
- [26] D. . Schacter, "Priming and multiple memory systems: Perceptual mechanisms of implicit

- memory,” in *Memory systems*, Cambridge, MA: MIT, 1994, pp. 233–268.
- [27] E. Tulving, “Episodic and semantic memory,” *Organization of memory*, vol. 1. pp. 381–403, 1972.
- [28] M. D. Lezak, “Neuropsychological assessment,” *Oxford Univ. Press*, 1983.
- [29] T. K. Tatemichi, D. W. Desmond, Y. Stern, M. Paik, M. Sano, and E. Bagiella, “Cognitive impairment after stroke: frequency, patterns, and relationship to functional abilities.,” *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, vol. 57, no. 2, pp. 202–207, 1994.
- [30] J.-H. Sun, L. Tan, and J.-T. Yu, “Post-stroke cognitive impairment: epidemiology, mechanisms and management.,” *Ann. Transl. Med.*, vol. 2, no. 8, p. 80, 2014.
- [31] E. H. Strauss, E. M. S. Sherman, and O. Spreen, “A Compendium of Neuropsychological Tests,” *Administration Norms And Commentary*. p. 1216, 2006.
- [32] R. L. Hester, G. J. Kinsella, and B. Ong, “Effect of age on forward and backward span tasks.,” *J. Int. Neuropsychol. Soc.*, vol. 10, no. 4, pp. 475–81, Jul. 2004.
- [33] T. Beblo, C. Macek, I. Brinkers, W. Hartje, and P. Klaver, “A new approach in clinical neuropsychology to the assessment of spatial working memory: The block suppression test,” *J. Clin. Exp. Neuropsychol. y (Neuropsychology, Dev. Cogn. Sect. A)*, pp. 105–114, 2004.
- [34] R. Brunetti, C. Del Gatto, and F. Delogu, “eCorsi: Implementation and testing of the Corsi block-tapping task for digital tablets,” *Front. Psychol.*, vol. 5, no. AUG, 2014.
- [35] M. H. G. Claessen, I. J. M. van der Ham, and M. J. E. van Zandvoort, “Computerization of the Standard Corsi Block-Tapping Task Affects Its Underlying Cognitive Concepts: A Pilot Study,” *Appl. Neuropsychol. Adult*, vol. 22, no. 3, pp. 180–188, May 2015.
- [36] N. Fournet, J.-L. Roulin, F. Vallet, M. Beaudoin, S. Agrigoroaei, A. Paignon, C. Dantzer, and O. Desrichard, “Evaluating short-term and working memory in older adults: French normative data,” *Aging Ment. Health*, vol. 16, no. 7, pp. 922–930, Sep. 2012.
- [37] A. Vandierendonck, E. Kemps, M. C. Fastame, and A. Szmalec, “Working memory components of the Corsi blocks task.,” *Br. J. Psychol.*, vol. 95, no. Pt 1, pp. 57–79, 2004.
- [38] D. L. Woods, M. M. Kishiyama, E. W. Yund, T. J. Herron, B. Edwards, O. Poliva, R. F. Hink, and B. Reed, “Improving digit span assessment of short-term verbal memory,” *J. Clin. Exp. Neuropsychol.*, vol. 33, no. 1, pp. 101–111, Jan. 2011.
- [39] D. L. Woods, J. M. Wyma, T. J. Herron, and E. W. Yund, “An improved spatial span test of visuospatial memory,” *Memory*, pp. 1–14, 2015.
- [40] T. Hume and S. Hume, “PathSpan,” 2012. [Online]. Available: <http://hume.ca/ix/pathspan.html>. [Accessed: 02-Sep-2016].
- [41] “Test de memoria visuoespacial. Android.,” 2016. [Online]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.NRHB.SST>. [Accessed: 12-Sep-2016].
- [42] “Test de atención continua. Android.,” 2016. [Online]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.NRHB.CAT>. [Accessed: 12-Sep-2016].
- [43] “Test de memoria visuoespacial. Windows®.,” 2016. [Online]. Available: http://www.lableni.com/nrhb/resources/span_setup.exe. [Accessed: 12-Sep-2016].
- [44] “Test de atención continua. Windows®.,” 2016. [Online]. Available: http://www.lableni.com/nrhb/resources/cat_setup.exe. [Accessed: 12-Sep-2016].
- [45] B. Piper, S. Mueller, S. Talebzadeh, and M. Ki, “Evaluation of the validity of the Psychology Experiment Building Language tests of vigilance, auditory memory, and decision making.,” 2016.
- [46] S. Raz, Y. Bar-Haim, A. Sadeh, and O. Dan, “Reliability and validity of the online continuous performance test among young adults.,” *Assessment*, vol. 21, no. 1, pp. 108–18, 2014.
- [47] B. Piper, S. Mueller, A. Geergen, K. Dixon, and R. Olsen, “Reliability and validity of neurobehavioral function on the Psychology Experimental Building Language test battery in young-adults,” 2015.